Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский государственный университет
Факультет географии и геоинформатики
Кафедра общего землеведения и гидрометеорологии

СОГЛАСОВАНО
Заведующий кафедрой
_____ Гледко Ю.А.
«27» мая 2024 г.

СОГЛАСОВАНО
Декан факультета
_____Кольмакова Е.Г.
«30» мая 2024 г.

Спутниковая метеорология

Электронный учебно-методический комплекс
для специальностей:
1-31 02 02 «Гидрометеорология»
6-05-0532-02 «Гидрометеорология»

Регистрационный № 2.4.2-24/479

Автор:
Дорожко Н. В., старший преподаватель кафедры общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики БГУ.

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ 31.05.2024 г., протокол № 8.

Минск 2024

УДК 551.507(075.8)
Д 692

Утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ
Протокол № 8 от 31.05.2024 г.

Решение о депонировании вынес:
Совет факультета географии и геоинформатики
Протокол № 10 от 30.05.2024 г.

А в т о р :

Дорожко Наталья Васильевна, старший преподаватель кафедры общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики БГУ.

Рецензенты:

Светашев А.Г., заведующий лабораторией биофотоники Национального научно-исследовательского центра мониторинга озоносферы БГУ;

Давыдовский А.Г., кандидат биологических наук, доцент кафедры микропроцессорных систем и сетей Института информационных технологий БГУИР.

Дорожко, Н. В. Спутниковая метеорология : электронный учебно-методический комплекс для специальностей: 1-31 02 02 «Гидрометеорология», 6-05-0532-02 «Гидрометеорология» / Н. В. Дорожко ; Фак. географии и геоинформатики, Каф. общего землеведения и гидрометеорологии. – Минск : БГУ, 2024. – 99 с. : ил. – Библиогр.: с. 96–97.

Основной целью учебной дисциплины «Спутниковая метеорология» является получение знаний о современных спутниковых системах последнего поколения и о физическом состоянии атмосферы и подстилающей поверхности Земли, метеорологических явлениях по данным наблюдений с искусственных спутников Земли (ИСЗ). Спутниковая метеорология знакомит студентов с теоретическими знаниями, методическими принципами и способами получения, обработки и интерпретации информации, получаемой с помощью аппаратуры искусственных спутников Земли, а также способствует приобретению навыка к практическому решению определенных задач спутниковой метеорологии. Дисциплина относится к компоненту учреждения высшего образования, модулю «Дистанционные математические методы».

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА 5
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ 7
1.1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ПРИМЕНЯЕМЫХ В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ 7
1.1.1. История спутниковой метеорологии 7
1.1.2. Развитие спутниковых систем 8
1.2. ОСНОВНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОШЬЮ СПУТНИКОВ. 13
1.2.1. Основные астрономические понятия используемые в спутниковой метеорологии 13
1.2.2 Физические основы измерений 16
1.3. МАКРОСТРУКТУРА ОБЛАКОВ. ОБЛАЧНЫЕ СИСТЕМЫ РАЗЛИЧНОГО МАСШТАБА И ИХ СВЯЗЬ С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ 19
1.3.1. Структура облаков и их роль в спутниковой метеорологии 19
1.4. ТИПЫ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА 27
1.5. ПОЛУЧЕНИЕ, СБОР, АРХИВАЦИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ. ДЕШИФРИРОВАНИЕ ... 32
1.5.1. Получение информации спутниковых наблюдений 32
1.5.3. Дешефрирование данных 38
1.7. ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕТЕОВЕЛИЧИН ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ 41
1.7.2. Температура по результатам орбитальных наблюдений 42
1.7.3. Спутниковый анализ других составляющих атмосферы 45
1.8. ВРЕМЕННАЯ И ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ПРИВЯЗКА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ 48
1.8.1. Временная привязка спутникового изображения 49
1.8.2. Географическая привязка 51
1.9.1 Предварительная обработка спутниковой информации 53
1.9.2 Численная интерпретация полученных данных 56
1.10. СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗЕМЛИ. ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ. 57
1.11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИСЗ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ 61
1.11.1 КОСМИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО 61
1.11.2 Возмущенное движение космического аппарата 64
1.12. КООРДИНАТЫ ПОДСПУТНИКОВОЙ ТОЧКИ И ТРАССА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО СПУТНИКА ЗЕМЛИ НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛАНЕТЫ 66

1.12.1 Системы координат 66
1.13. СПУТНИКОВАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ И ЕЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ 79
2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ 84
2.1. ПОЛУЧЕНИЕ, СБОР, АРХИВАЦИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ. 84
2.2. АНАЛИЗ ОБЛАЧНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ 84
2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО СПУТНИКА ЗЕМЛИ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ 85
2.4. КООРДИНАТЫ ПОДСПУТНИКОВОЙ ТОЧКИ И ТРАССА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО СПУТНИКА ЗЕМЛИ НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛАНЕТЫ. 85
2.5 ВРЕМЕННАЯ И ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ПРИВЯЗКА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ. ДЕШИФРИРОВАНИЕ ДАННЫХ 86
3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ 87
3.1 ОБЩИЕ ПРАВИЛА 87
3.2 ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ И ЗАЧЕТУ 88
3.3 ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА РЕФЕРАТОВ 89
3.4 ТРЕБОВАНИЯ К РЕФЕРАТАМ 90
4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ 91
4.1СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА 92
4.2 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА 96
4.4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА 98

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Основной целью учебной дисциплины «Спутниковая метеорология» является получение знаний о современных спутниковых системах последнего поколения и о физическом состоянии атмосферы и подстилающей поверхности Земли, метеорологических явлениях по данным наблюдений с искусственных спутников Земли (ИСЗ). Спутниковая метеорология знакомит студентов с теоретическими знаниями, методическими принципами и способами получения, обработки и интерпретации информации, получаемой с помощью аппаратуры искусственных спутников Земли, а также способствует приобретению навыка к практическому решению определенных задач спутниковой метеорологии.

Дисциплина относится к компоненту учреждения высшего образования, модулю «Дистанционные математические методы».

Связи с другими учебными дисциплинами. Данная учебная дисциплина органически связана со следующими дисциплинами: «Синоптическая метеорология» и «Моделирование процессов гидрологии и метеорологии».

ЦЕЛЬ: получение знаний о современных спутниковых системах последнего поколения и о физическом состоянии атмосферы и подстилающей поверхности Земли, метеорологических явлениях по данным наблюдений с искусственных спутников Земли

Основными задачами дисциплины являются:

– ознакомить с понятийно-терминологическим аппаратом, применяемым при работе со спутниковой информацией;

- ознакомить с методическими принципами устройства и работы искусственных спутников Земли (ИСЗ);

- дать представление о параметрах орбит различных типов ИСЗ и уравнениях движения спутников;

- ознакомить с основами интерпретации информации ИСЗ, включая понятия о различных каналах излучения для распознавания типов облаков, их высоты и количества;

- ознакомить с информационным обеспечением, программами для оценки гидрометеорологических характеристик с учетом знаний наземных и дистанционных наблюдений;

- дать представление о составлении карт облачности по спутниковым данным.

Изучение дисциплины базируется на основе знаний, полученных при изучении цикла специальных дисциплин государственного компонента и компонента учреждения высшего образования: физики, метеорологии и климатологии, физической метеорологии, синоптической метеорологии и динамики атмосферы, авиационной метеорологии, аэрологии.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- закономерности движения Земли и искусственных спутников Земли,

- распределение радиационных потоков в системе Солнце – атмосфера – Земля, спектральные характеристики электромагнитного излучения, поглощения и рассеяния;

- формы и структуры облачных образований;

- физические процессы, приводящие к образованию облачных систем, их эволюции и перемещению в атмосфере;

- состояния различных естественных объектов природной среды и синоптических ситуаций в определенных географических районах.

уметь:

-эффективно использовать метеорологическую информацию для оценки различных ситуаций и при решении прикладных задач;

-получать и обрабатывать гидрометеорологическую информацию с ИСЗ;

-применять данные ИСЗ для метеорологического прогноза и валидации результатов численного моделирования атмосферных процессов.

владеть:

-современными методами анализа информации;

В результате изучения учебной дисциплины формируется следующая компетенция:

СК-11- Быть способным владеть методами дистанционного измерения гидрометеорологических параметров атмосферы и гидросферы, полученных с космических спутников, методами дешифрирования снимков

Форма получения высшего образования – дневная, очная. Занятия проводятся в пятом семестре на третьем году обучения.

Всего на изучение учебной дисциплины «Спутниковая метеорология» для специальности «Гидрометеорология» отведено: 108 часов, в том числе 48 аудиторных часов, из них лекции составляют 26 часов, практические занятия – 14 часов, практические занятия для дистанционного обучения – 4 часов, контроль учебной самостоятельной работы дистанционного обучения – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1. Современное состояние спутниковых систем, применяемых в метеорологической практике

1.1.1. История спутниковой метеорологии

Метеорологи почти сразу после запуска первых спутников заинтересовались возможностью наблюдать за атмосферой Земли из космоса. Метеорологические спутники оказали такое огромное влияние на прогнозирование погоды, что некоторые разделяют историю метеорологии на две категории: доспутниковую эру и постспутниковую эру. Успехи спутниковой метеорологии неразрывно связаны с достижениями в области ракетной техники. Создание ракет различных типов дало возможность использовать их для исследования верхних слоев атмосферы и околоземного космического пространства. Запуск первой ракеты с целью измерения параметров воздушной среды был осуществлен 11 апреля 1937 г., однако практическая реализация программ регулярного ракетного зондирования атмосферы началась лишь в 50-х годах благодаря созданию как в Советском Союзе, так и за рубежом специализированных типов ракет, обладающих различными техническими характеристиками. Первой в мире специализированной метеорологической ракетой явилась советская жидкостная одноступенчатая ракета МР-1, предназначавшаяся для измерения температуры, давления, плотности воздуха, а также распределения ветров на высотах до 100 км. Регулярное зондирование атмосферы начало проводиться с ее помощью с осени 1951 г. В начале 60-х годов в Советском Союзе была создана более совершенная двухступенчатая твердотопливная метеорологическая ракета М-100 с высотным потолком зондирования атмосферы также около 100 км.

Важным этапом в дальнейшем развитии исследований атмосферы явилось создание и внедрение в эксплуатацию с осени 1965 г. еще более совершенной твердотопливной метеорологической ракеты МР-12, способной поднимать до 50 кг различной аппаратуры на высоту 180 км. Основное достоинство ракеты МР-12 – способность проводить зондирование атмосферы в любых климатических и погодных условиях, ее многоцелевая направленность и универсальность.

Тяжелые ракеты, получившие название геофизических, используются для зондирования атмосферы до более значительных высот. Несмотря на огромную значимость в деле изучения свойств земной атмосферы и наблюдения за ее состоянием, ракетные методы зондирования имеют ряд существенных недостатков. Во-первых, данные, получаемые с помощью метеорологических

ракет, не обладают такой полнотой, какую имеет, к примеру, информация, поступающая с сети аэрологического зондирования. Это обусловлено, с одной стороны, малым количеством пунктов ракетного зондирования на земном шаре, а с другой, сравнительно малой информативностью каждого ракетного эксперимента. Во-вторых, невозможность из-за малого времени полета ракеты проводить систематические и продолжительные наблюдения за атмосферными явлениями и процессами, протекающими на больших высотах. В-третьих, невозможность организации глобальных ракетных наблюдений из-за редкой сети станций ракетного зондирования и сравнительной дороговизны каждого запуска. Поэтому важно было создать на базе искусственных спутников Земли несколько автоматических лабораторий, которые бы позволили с помощью дистанционных методов осуществлять постоянное и оперативное наблюдение за различными параметрами земной атмосферы и погодой в глобальном масштабе. Кроме того, использование метеорологических ИСЗ явилось естественным развитием методов ракетного зондирования верхних слоев атмосферы.

В начале космической эры спутники запускались только посредством ракет-носителей, а к концу XX века широкое распространение получил также запуск спутников с борта других спутников — орбитальных станций и космических кораблей (в первую очередь, с МТКК (многоразового космического корабля)-космоплана Спейс Шаттл.

Метеорологические спутники предоставляют метеорологам по всему миру бесценные данные, не только отправляя синоптикам изображения погодных систем, но и снабжая метеорологические модели данными удаленных наблюдений в местах, где наблюдения на поверхности Земли невозможны.

1.1.2. Развитие спутниковых систем

Еще в 1946 году разрабатывалась идея использования камер на орбите для наблюдения за погодой. Это было связано с ограниченным охватом данных наблюдений и дороговизной использования облачных камер на ракетах. К 1958 году были созданы первые прототипы TIROS и Vanguard (разработанные Армейским корпусом связи).

Первый в мире ИСЗ запущен в СССР 4 октября 1957 года (Спутник-1). Второй страной, запустившей ИСЗ, стали США 1 февраля 1958 года (Эксплорер-1). Третьей страной, выведшей первый ИСЗ на своей РН, стала Франция 26 ноября 1965 года (Астерикс). Следующие страны -Великобритания, Канада, Италия — запустили свои первые ИСЗ в 1962, 1962, 1964 гг. соответственно на американских РН. Австралия и ФРГ обзавелись первыми ИСЗ в 1967 и 1969 гг. Свои первые ИСЗ Япония, Китай, Израиль в 1970, 1970, 1988 гг. Ряд стран — Великобритания, Индия, Иран, а также Европа (межгосударственная организация ESRO, ныне ESA) — запустили свои первые

искусственные спутники Земли (ИСЗ) на иностранных носителях, прежде чем создали свои.

Первый метеорологический спутник получил название Vanguard 2 и был запущен 17 февраля 1959 года. Он был разработан для измерения облачности и сопротивления, но плохая ось вращения и эллиптическая орбита не позволили ему собрать значительный объем полезных данных. Несмотря на то, что этот спутник был первым в своем роде, вышедшим на орбиту Земли, он не увенчался полным успехом. После выхода на орбиту часть ракеты, которая доставила его в космос, столкнулась со спутником, вызвав его колебание. В результате данные о погоде, которые были отправлены обратно на Землю, были сильно искажены. Спутники Explorer VI и VII также проводили эксперименты, связанные с погодой.

Первым метеорологическим спутником, признанным успешным, был TIROS-1 (рисунок 1), запущенный НАСА 1 апреля 1960 года. TIROS проработал 78 дней и оказался намного более успешным, чем Vanguard 2. TIROS проложил путь для программы Nimbus, технологии и результаты которой являются наследием большинства спутников наблюдения Земли, запущенных с тех пор НАСА и NOAA. Начиная со спутника Nimbus 3 в 1969 году, информация о температуре через тропосферную колонку начала собираться спутниками из восточной Атлантики и большей части Тихого океана, что привело к значительному улучшению прогнозов погоды.

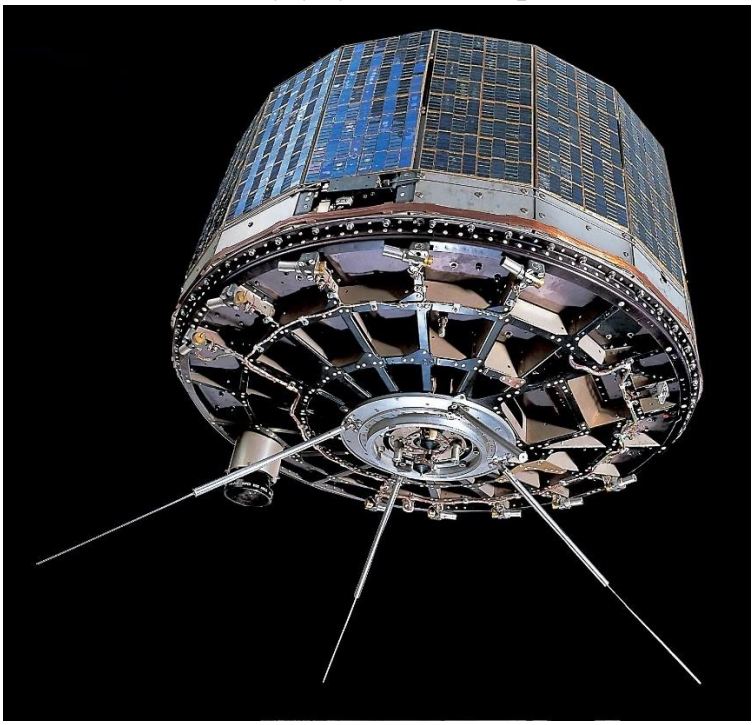


Рисунок 1 – Метеорологических спутник TIROS-1.

Спутники ESSA и NOAA на полярной орбите последовали примеру предыдущих систем с конца 1960-х годов. Геостационарные спутники, начиная с серий ATS и SMS в конце 1960-х и начале 1970-х, затем продолжая серию

GOES с 1970-х годов. Спутники на полярной орбите, такие как QuikSCAT и TRMM, начали передавать информацию о ветре вблизи поверхности океана, начиная с конца 1970-х годов, с микроволновыми изображениями, которые напоминали радарные дисплеи, что значительно улучшило диагностику силы, интенсификации и местоположения тропических циклонов в 2000-х и 2010-х годах. С запуска в 1967 году спутников «Космос-144» и «Космос-156» начала функционировать первая советская метеорологическая спутниковая система «Метеор». С 1974 года создавались космические аппараты (КА) серии «Метеор-Природа» (модернизация «Метеора»). Одновременно разрабатывался новый КА серии «Метеор-2» на оригинальной спутниковой платформе СП-I. Серийное производство было передано в истринский филиал ВНИИЭМ. В 1982 году Государственная метеорологическая космическая система (ГМКС) «Метеор-2» была принята в эксплуатацию. На базе спутниковой платформы СП-I были созданы космические системы и комплексы различного назначения:

- ГМКС «Метеор-2» (22 КА, 1975—1995 гг.)
- Космические комплексы для исследования природных ресурсов Земли и оперативного экологического мониторинга «Ресурс-О1» (6 КА, 1980—2000 гг.)
- Космический комплекс «Интеркосмос-Болгария-1300» для геофизических исследований ионосферы, магнитосферы Земли и околоземного космоса (1981—1983 гг.)
- Экспериментальный космический комплекс «Астрофизика» для обнаружения и точного определения координат при земных ядерных взрывах (1978—1979 гг.)

Во второй половине 80-х годов была создана спутниковая платформа второго поколения СП-II («Ресурс-УКП»). На её базе были созданы 4 типа КА:

- Метеорологический и геогелиофизический КА «Метеор-3» (7 КА, 1985-1997 гг.)
- Многоцелевой КА «Ресурс-О1» № 4 (1998 г.)
- Многоцелевой КА «Метеор-3М» (2001 г.)

Спутник DSCOVR, принадлежащий NOAA, был запущен в 2015 году и стал первым спутником дальнего космоса, который может наблюдать и прогнозировать космическую погоду. Он может обнаруживать потенциально опасные погодные явления, такие как солнечный ветер и геомагнитные бури. Это то, что дало человечеству возможность делать точные и упреждающие прогнозы космической погоды с конца 2010-х годов.

В Европе первый действующий метеорологический спутник Meteosat геостационарный, Meteosat-1, был запущен в 1977 году с помощью ракеты-носителя Delta. Спутник представлял собой стабилизированную вращением

цилиндрическую конструкцию диаметром 2,1 м и высотой 3,2 м, вращающуюся со скоростью около 100 об / мин и оснащенную прибором Meteosat Visible and Infrared Imager (MVIRI). Последовательно запускались спутники первого поколения Meteosat на европейских пусковых установках Ariane-4 из Куру во Французской Гайане, вплоть до Meteosat-7, который собирал данные с 1997 по 2017 год, первоначально управлялся Европейским космическим агентством, а позже, с 1995 года, Европейской организацией по эксплуатации метеорологических спутников (EUMETSAT).

Спутники Meteosat второго поколения (MSG) – также стабилизированные по вращению, хотя физически крупнее и в два раза массивнее первого поколения – были разработаны ЕКА совместно с европейской промышленностью и в сотрудничестве с EUMETSAT, которые затем управляют спутниками из своей штаб-квартиры в Дармштадте, Германия, используя тот же подход, что и для всех последующих европейских метеорологических спутников. Meteosat-8, первый спутник MSG, был запущен в 2002 году с помощью ракеты-носителя Ariane-5, на борту которой находились приборы Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI) и Geostationary Earth Radiation Budget (GERB), а также полезная нагрузка для поддержки миссий COSPAS-SARSAT Search and Rescue (SAR) и ARGOS платформа сбора данных (DCP). SEVIRI предоставил увеличенное количество спектральных каналов над MVIRI и отображал полный диск Земли с удвоенной скоростью. Meteosat-9 был запущен в дополнение к Meteosat-8 в 2005 году, а вторая пара, состоящая из Meteosat-10 и Meteosat-11, была запущена в 2012 и 2015 годах соответственно. Программа Meteosat третьего поколения (MTG) запустила свой первый спутник в 2022 году и внесла ряд изменений по сравнению со своими предшественниками в поддержку своей миссии по сбору данных для прогнозирования погоды и мониторинга климата. Спутники MTG стабилизированы по трем осям, а не по вращению, что обеспечивает большую гибкость при проектировании спутников и приборов. Система MTG включает в себя отдельные модели спутников-тепловизоров и эхолотов, которые используют одну и ту же спутниковую шину, с базовой линией из трех спутников - двух тепловизоров и одного эхолота - образующих рабочую конфигурацию. Спутники-тепловизоры оснащены гибким комбинированным тепловизором (FCI), который приходит на смену MVIRI и SEVIRI, обеспечивая еще большее разрешение и спектральный охват, сканируя весь земной диск каждые десять минут, а также новую полезную нагрузку Lightning Imager (LI). Спутники-эхолоты оснащены инфракрасным эхолотом (IRS) и приборами ультрафиолетовой видимости в ближней инфракрасной области (UVN). UVN является частью программы Европейской комиссии Copernicus и выполняет

миссию Sentinel-4 по ежечасному мониторингу качества воздуха, остаточных газов и аэрозолей над Европой с высоким пространственным разрешением. Два спутника MTG - один тепловизор и один эхолот - будут работать в непосредственной близости от геостационарной точки 0 ° над Западной Африкой для наблюдения за восточной частью Атлантического океана, Европой, Африкой и Ближним Востоком, в то время как второй спутник тепловизора будет работать на высоте 9,5 ° к востоку для выполнения миссии быстрого сканирования над Европой. MTG продолжает оказывать поддержку со спутника Meteosat ARGOS и поисково-спасательным миссиям. MTG-I1 был запущен в ходе одного из последних запусков Ariane-5, а последующие спутники планируется запустить в составе Ariane-6, когда он поступит в эксплуатацию.

В 2006 году первый европейский эксплуатационный метеорологический спутник на низкой околоземной орбите, Metop-A, был запущен на солнечно-синхронную орбиту на высоте 817 км ракетой-носителем "Союз" с Байконура, Казахстан. Этот действующий спутник, образующий космический сегмент полярной системы Eumetsat (EPS), построен на основе наследия экспериментальных миссий ESA ERS и Envisat, за которым с интервалом в шесть лет следовали Metop-B и Metop-C - последний был запущен из французской Гайаны на "европеизированном" корабле "Союз". Каждый из них оснащен тринадцатью различными пассивными и активными приборами различной конструкции - от тепловизоров и эхолотов до рассеивателя и прибора для радиозакрытия. Модуль спутникового обслуживания основан на шине SPOT-5, в то время как набор полезной нагрузки представляет собой комбинацию новых и устаревших приборов как из Европы, так и из США в соответствии с первоначальным соглашением о совместной полярной системе между EUMETSAT и NOAA.

Второе поколение спутников Metop (Metop-SG) находится в продвинутой разработке, запуск первого спутника запланирован на 2025 год. Как и MTG, Metop-SG будет запущен на Ariane-6 и будет состоять из двух моделей спутников, которые будут работать в паре взамен одиночных спутников первого поколения для продолжения миссии EPS.

В XXI веке с развитием микроминиатюризации и нанотехнологий массовым явлением стало создание сверхмалых спутников форматов кубсат (от одного до несколько кг и от нескольких до нескольких десятков см), а также появился новый формат покеткуб (буквально карманный куб) в несколько сотен или десятков граммов и несколько сантиметров.

Спутники преимущественно создаются как невозвратные, однако некоторые из них (в первую очередь, пилотируемые и некоторые грузовые космические корабли) являются возвращаемыми частично (имея спускаемый аппарат) или полностью (космопланы и спутники, возвращаемые на их борту).

1.2. Основные астрономические понятия. Физические основы измерений с помощью спутников

1.2.1. Основные астрономические понятия используемые в спутниковой метеорологии

При изучении роли спутников в метеорологии нужно владеть определенными астрономическими понятиями. Астрономические законы выражают внешние и внутренние существенно необходимые связи между космическими объектами, процессами и явлениями; носят, как правило, эмпирический характер. Они выводятся на основе данных астрономических исследований и объясняются на основе законов физики в рамках физических теорий.

Астрономические теории представляют собой систему знаний о Вселенной более высоко, нежели законы, степени обоснованности и обобщенности и включают в себя в качестве основания данные, полученные в результате астрономических наблюдений и исследований в области ряда других естественно-математических наук. Ядром их являются астрономические и физические законы и специфический математический аппарат, а следствиями – объяснение механизма космических процессов и природы космических объектов во всей сложности и многообразии их взаимных связей, и использование полученных знаний в практических целях во благо человечества.

Основным методом астрономических исследований являются астрономические наблюдения, поставляющие свыше 90% информации о космических процессах, явлениях и объектах.

Основными инструментами исследований в области астрометрии и небесной механики являются разного рода угломерные приборы в комбинации с различными приемниками-регистраторами электромагнитного излучения и приборы для измерения и хранения времени. Основными инструментами астрофизических исследований являются телескопы, предназначенные для регистрации электромагнитного излучения и потоков элементарных частиц, испускаемых исследуемыми объектами, усиления создаваемой ими освещенности и увеличения их видимых угловых размеров. Телескопы, приемники элементарных частиц и детекторы космических лучей условно подразделяются по диапазонам воспринимаемого ими излучения.

В зависимости от характеристик диапазона регистрируемого излучения исследуемых объектов, условий и особенностей проведения наблюдений в астрономии условно выделяют разделы: радио-, оптической, инфракрасной, ультрафиолетовой, рентгеновской, гамма-, нейтринной и т.д. астрономии; наземной и внеатмосферной астрономии и т.д. Специфика применения различных вспомогательных физических приборов для решения конкретных задач исследования природы космических объектов, процессов и явлений породила классификацию методов астрономических наблюдений на основе применяемых инструментов:

-визуальные,

-телескопические,

-фотометрические,

-фотографические,

-спектрометрические и т.д.

Космические объекты могут рассматриваться как системы определенным образом организованных взаимосвязанных вещественных тел и полевых элементов.

Перечень необходимых астрономических понятий:

Азимут – угловое расстояние по математическому горизонту от точки юга (астрономический) или севера (геодезический) до вертикала светила.

Аккреция – процесс, при которым маленькие частицы вещества присоединяются к большим массам (или поглощаются ими) под действием взаимной гравитации или при случайных столкновениях, в результате чего постепенно образуются большие небесные тела.

Альбедо – характеристика диффузной отражательной способности поверхности.

Апогей – наиболее удаленная от Земли точка орбиты обращающегося вокруг нее тела.

Афелий – наиболее удаленная от Солнца точка орбиты обращающегося вокруг него тела.

Высота – угловое расстояние по вертикалу от математического горизонта до светила.

Год световой – внесистемная единица длины, равная расстоянию, проходимому светом за один год, ≈ 9,46 · 1015 метра.

Горизонт математический – большой круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна к отвесной линии.

Долгота географическая – двугранный угол между плоскостями нулевого меридиана и меридиана, проходящего через точку на Земле.

Единица астрономическая (а.е.) – среднее расстояние между Землей и Солнцем.

Зенит – расположенная над головой наблюдателя точка пересечения отвесной линии с поверхностью небесной сферы.

Зенитное часовое число (ZNH) – количество метеоров данного потока, которое увидел бы наблюдатель невооруженным глазом за один час на ночном небе при радианте потока, находящемся в зените.

Координаты горизонтальные – измеренные относительно математического горизонта (азимут и высота).

Экваториальные – измеренные относительно небесного экватора (прямое восхождение или часовой угол и склонение).

Кульминация – момент пересечения светилом небесного меридиана.

Надир – расположенная под ногами наблюдателя точка пересечения отвесной линии с поверхностью небесной сферы.

Наклонение орбиты – двугранный угол, образованный плоскостями эклиптики и орбиты небесного тела.

Нутация – слабое нерегулярное движение вращающегося твёрдого тела, совершающего прецессию.

Параллакс годовой – угол, под которым из данной точки виден радиус орбиты Земли. Суточный – угол, под которым из данной точки виден радиус Земли.

Перигей – наиболее близкая к Земле точка орбиты обращающегося вокруг нее тела.

Перигелий – наиболее близкая к Солнцу точка орбиты обращающегося вокруг него тела.

Пояс часовой – участок Земли, для всех точек которого принимается одинаковое поясное время.

Равноденствие – момент пересечения центра диска Солнца небесного экватора при переходе в северное полушарие - весеннее – 21 марта или южное – осеннее – 23 сентября.

Равноденствия точки – точки пересечения небесного экватора и эклиптики (точки весеннего и осеннего равноденствия). В точке весеннего равноденствия Солнце пересекает небесный экватор, переходя из южного полушария небесной сферы в северное.

Рефракция - явление преломления света на границе двух сред с разной оптической плотностью. Астрономическая рефракция увеличивает видимую высоту светил над. горизонтом.

Солнце среднее экваториальное – воображаемая точка, равномерно движущаяся по небесному экватору так, что в каждый момент ее прямое восхождение равно средней долготе истинного Солнца.

Солнцестояние – момент прохождения центром диска Солнца самой северной (летнее) или южной (зимнее) точки эклиптики.

Сумерки астрономические – ограничиваются погружением Солнца под горизонт до 18 градусов. При большем погружении начинается астрономическая ночь.

Сутки звездные – промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями точки весеннего равноденствия на одном и том же географическом меридиане.

Сутки истинные солнечные – промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями центра видимого диска Солнца на одном и том же географическом меридиане.

Сутки средние солнечные – промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями среднего экваториального Солнца на одном и том же географическом меридиане.

Сфера небесная – сфера произвольного радиуса с центром в точке наблюдения.

Узел – точка пересечения орбиты небесного тела с эклиптикой. Различают восходящий и нисходящий узлы.

Угол часовой – угловое расстояние по небесному экватору от верхней точки экватора до часового круга, проходящего через светило. Отсчитывается в сторону суточного движения небесной сферы.

Уравнение времени – разность между средним и истинным солнечным временем.

Фаза затмения – отношение закрытой части диаметра затмеваемого тела, проходящего через центр затмевающего тела, к полному диаметру затмеваемого тела. Для полного затмения эта величина равна единице плюс отношение минимального расстояния между краями затмевающего и затмеваемого тела к диаметру затмеваемого тела.

Фаза планеты – отношение площади освещенной части видимого диска ко всей его площади.

Фотосфера – излучающий слой звёздной атмосферы, в котором формируется непрерывный спектр излучения. Фотосфера даёт основную часть излучения звезды.

Хромосфера – внешняя оболочка Солнца и других звёзд толщиной около 10 000 км, окружающая фотосферу.

Широта географическая – угол между плоскостью земного экватора и отвесной линией.

Экватор земной – большой круг на поверхности Земли, плоскость которого перпендикулярна оси вращения. Небесный – большой круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна к оси мира.

Эклиптика – 1) плоскость орбиты Земли; 2) видимый годичный путь Солнца относительно звезд на небесной сфере.

Эксцентриситет – величина, характеризующая отличие формы орбиты от круговой. Для окружности равен нулю, для параболы – единице.

Элементы орбиты – набор параметров, однозначно характеризующий орбиту небесного тела.

Эпоха – момент времени, выбранный в качестве начального отсчета.

Эфемерида – таблица, в которой приведены вычисленные координаты небесного тела для различных моментов времени.

1.2.2. Физические основы измерений

К основным законам физики в спутниковой метеорологии относят Законы Кеплера. Законы Кеплера – три эмпирических соотношения, установленные Иоганном Кеплером на основе длительных астрономических наблюдений Тихо Браге. Изложены Кеплером в работах, опубликованных между 1609 и 1619 годами. Описывают идеализированную гелиоцентрическую орбиту планеты.

Соотношения Кеплера позволили Ньютону постулировать закон всемирного тяготения, который стал фундаментальным в классической механике. В её рамках законы Кеплера являются решением задачи двух тел в случае пренебрежимо малой массы планеты.

Первый закон Кеплера

Планеты Солнечной системы движутся по эллиптическим орбитам. В одном из фокусов которой находится Солнце.

Согласно первому закону Кеплера, все планеты нашей системы движутся по замкнутой кривой, называемой эллипсом. Наше светило располагается в одном из фокусов эллипса. Всего их два: это две точки внутри кривой, сумма расстояний от которых до любой точки эллипса постоянная (рисунок 2).

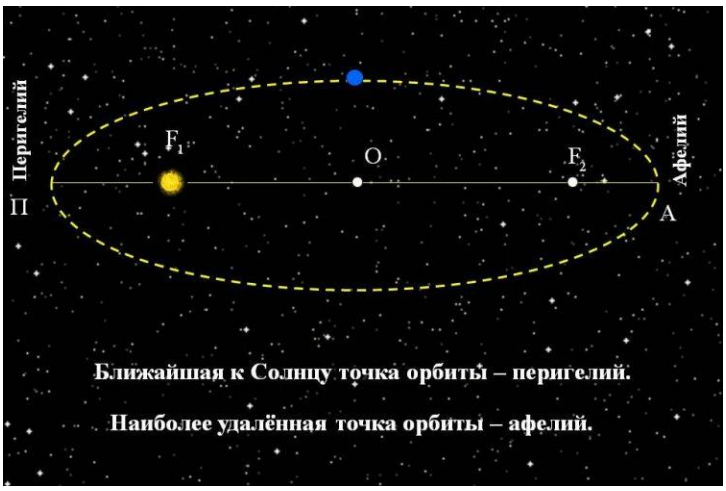


Рисунок 2 – Отражение первого закона Кеплера.

После длительных наблюдений ученый смог выявить, что орбиты всех планет нашей системы располагаются почти в одной плоскости. Некоторые небесные тела двигаются по орбитам-эллипсам, близким к окружности. И только Плутон с Марсом двигаются по более вытянутым орбитам. Исходя из этого, первый закон Кеплера получил название закона эллипсов.

Второй закон Кеплера (закон площадей)

Радиус-вектор планеты описывает в равные промежутки времени равные площади.

Второй закон Кеплера говорит о следующем: каждая планета перемещается в плоскости, проходящей через центр нашего светила. В одно и то же время радиус-вектор, соединяющий Солнце и исследуемую планету, описывает равные площади. Таким образом, ясно, что тела движутся вокруг желтого карлика неравномерно, а имея в перигелии максимальную скорость, а в афелии – минимальную.

На практике это видно по движению Земли. Ежегодно в начале января наша планета, во время прохождения через перигелий, перемещается быстрее. Из-за этого движение Солнца по эклиптике происходит быстрее, чем в другое время года. В начале июля Земля движется через афелий, из-за чего Солнце по эклиптике перемещается медленнее (рисунок 3).

Рисунок 3 – Отражение второго закона Кеплера.

Третий закон Кеплера (гармонический закон)

Квадраты периодов обращения планет относятся как кубы больших полуосей их орбит.

По третьему закону Кеплера, между периодом обращения планет вокруг светила и ее средним расстоянием от него устанавливается связь. Третий закон Кеплера выполняется как для планет, так и для спутников, с погрешно-стью не более 1 %.

На основании этого закона можно вычислить продолжительность года (время полного оборота вокруг Солнца) любой планеты, если известно её расстояние до Солнца. И наобо-рот — по этому же закону можно рассчитать орбиту, зная период обращения (рисунок 4).

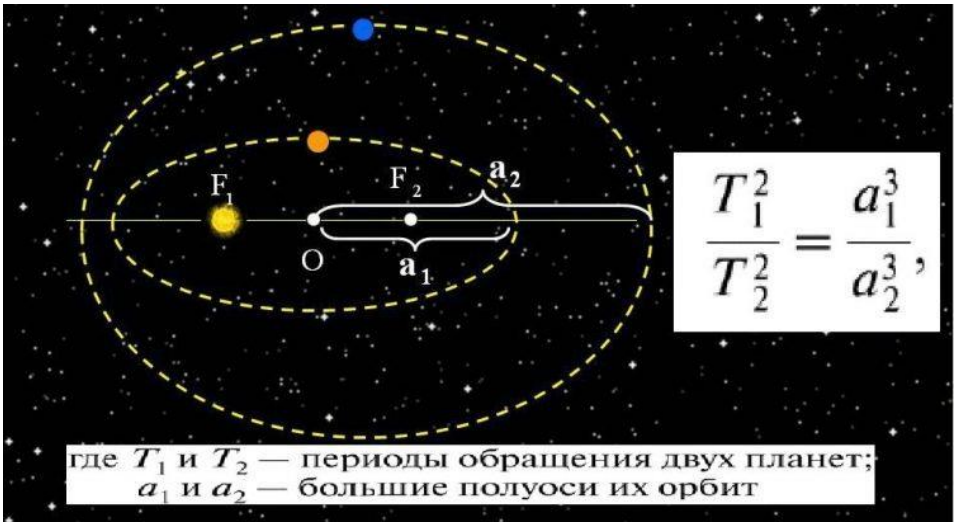


Рисунок 4 – Отражение третьего закона Кеплера.

Основные константы:

$R_\oplus = 6371{,}032$ км — средний радиус Земли;

$\mu_\oplus$ — геоцентрическая гравитационная постоянная,

$\mu_\oplus = G \cdot M_\oplus = 3{,}986005 \cdot 10^{14}$ м$^3 \cdot$ с$^{-1} = 3{,}986005 \cdot 10^5$ км$^3 \cdot$ с$^{-2}$;

$G = 6{,}67259 \cdot 10^{-11}$ Н·м^2·кг$^{-2}$ — постоянная всемирного тяготения;

$M_\oplus = 5{,}976 \cdot 10^{24}$ кг — масса Земли.

1.3. Макроструктура облаков. Облачные системы различного масштаба и их связь с метеорологическими процессами

1.3.1. Структура облаков и их роль в спутниковой метеорологии

Облака – взвешенные в атмосфере продукты конденсации водяного пара, видимые на небе невооружённым глазом с поверхности Земли и околоземного космического пространства. В широком смысле облако – скопление отдельных частиц какого-либо вещества в определённом объёме.

Облачные системы атмосферных фронтов изображаются снимках в виде светлых полос различной ширины, яркости и структуры. Наиболее широкие и яркие облачные полосы соответствуют активным фронтам с интенсивными восходящими движениями влажного воздуха, более узкие и менее светлые облачные полосы - неактивным, в области которых восходящие движения не получают развития. Фронтальные полосы состоят, как правило, из многослойной облачности, являющейся сочетанием различных типов. Распознавание типов облаков производится как по признакам, свойственным каждому типу облачности в отдельности, так и по характеру границ облачной полосы. Например, о наличии перисто-образной облачности можно судить по "выметам" светло-серого тона, а также по коротким поперечным полосам, часто наблюдающимся вдоль границы фронтальной облачности. "Рваные" (неровные) границы присущи кучевообразной и кучево-дождевой облачности. Сглаженные (ровные) края указывают на преобладание слоистообразной облачности. Во фронтальной полосе присутствует обычно не менее двух типов облачности.

Так как облачные полосы обычно состоят из облаков различных форм, то на картах нефанализа в том контуре, где указана фронтальная облачность, наносятся зачастую все формы облаков. Однако в ряде случаев удается проследить преобладание кучевообразной облачности в зоне холодного фронта и слоистообразной в зоне теплого фронта.

Анализ карт облачности, карт погоды и барической топографии показал, что фронтальные разделы часто прослеживаются в поле облачности значительно дольше, чем в поле других элементов. При этом внешний вид облачности и конфигурация облачной полосы часто позволяют определить вид фронта на снимке. Это обстоятельство может служить основой для уточнения анализа синоптического положения в конкретном районе.

Облачные полосы холодных фронтов имеют четкую структуру в виде яркой полосы шириной 200-300 км и длиной более 1000 км, очень часто с вкраплениями округлых ярких пятен с резко очерченными краями. Полосы формируются из слоисто-дождевой облачности и отдельных скоплений кучево-

дождевых облаков. Обычно они имеют однородный тон изображения, на фоне которого четко прослеживаются вкрапления округлых ярких пятен облаков вертикального развития. Для активных холодных фронтов характерно изображение в виде непрерывной хорошо развитой облачной полосы. Для фронтов с пониженной активностью облачная полоса обычно менее широкая, с отдельными разрывами контура (рисунок 5).

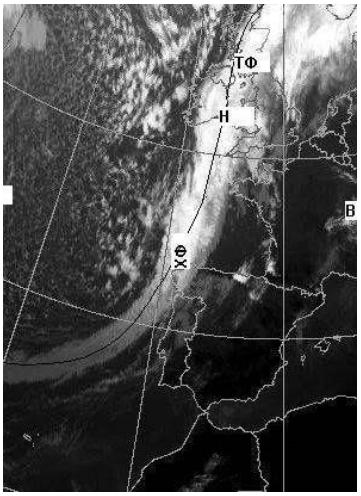


Рисунок 5 – Спутниковый снимок холодного фронта.

Очень часто облачные полосы холодного фронта бывают отделены безоблачными зонами от предфронтальной и зафронтальной облачности.

Теплый фронт, как правило, хорошо выражен в поле облачности лишь в начальных стадиях развития циклона, поэтому распознавание этих фронтов на снимках гораздо сложнее, чем холодных. Изображение облачности теплого фронта на снимках отличается большим разнообразием размеров и рисунков облачного покрова. Облачная зона теплого фронта имеет антициклоническую кривизну и выгибается в сторону холодного воздуха.

Облачная полоса этого фронта сформирована из однородной слоисто-дождевой облачности. На снимках, полученных в летнее время, очень часто могут наблюдаться отдельные образования кучево-дождевых облаков. Ширина фронтальной облачной полосы на всем ее протяжении неодинакова. Там, где происходит развитие волны и циклона, она расширена, в области тыловых гребней - сужена и размыта. Размытые теплые фронты иногда бывают, видны на снимках в виде полос перистой облачности (рисунок 6).

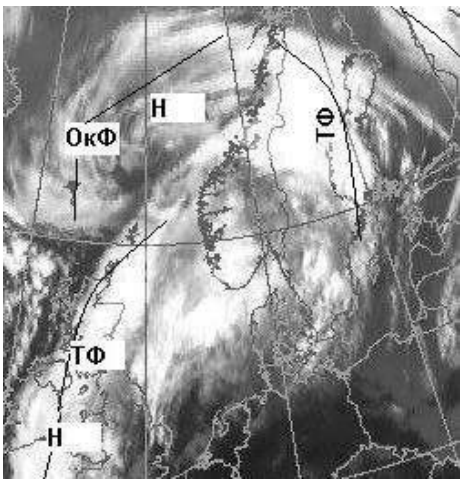


Рисунок 6 – Спутниковый снимок теплого фронта.

Облачная зона, соответствующая фронту окклюзии, представляет собой плотную (яркую) облачную полосу шириной около 300 км. Обычно она имеет форму спирали, напоминающую внешним видом гигантскую запятую, вершина которой находится в центре циклонической циркуляции на уровне облачности. Для облачной спирали характерна резко очерченная внутренняя (тыловая) граница, за ней наблюдается безоблачная или малооблачная полоса, причем на некотором расстоянии от нее могут быть видны облака кучевообразных форм в виде гряд, конвективных ячеек или скопления облаков, не имеющих четкой структуры. В отличие от внутренней границы облачной полосы фронта окклюзии, внешняя (передняя) граница более расплывчатая, часто изорванная. Облачная полоса в этом случае состоит из отдельных валов облаков, которые чередуются с просветами, причем те и другие вытягиваются вдоль направления основной облачной полосы. Если облачная полоса имеет резкую внутреннюю границу, то фронт окклюзии находится в тыловой части облачной спирали; если же внутренняя граница является более аморфной, фронт окклюзии у поверхности Земли смещается к центральной части облачной полосы. Облачная система окклюзии часто переходит в облачную систему холодного фронта без заметного раздвоения на облачность холодного и теплого фронтов (рисунок 7).

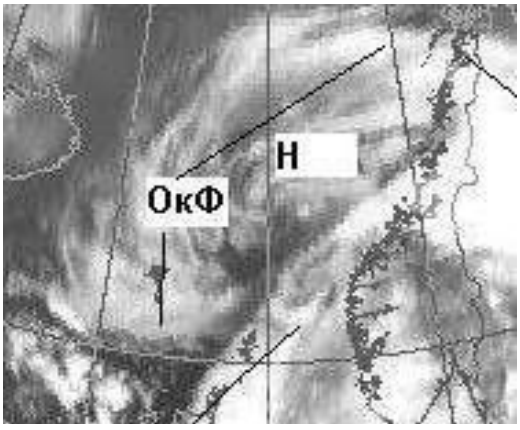


Рисунок 7 – Спутниковый снимок фронта окклюзии.

Иногда положение точки окклюзии можно определить по небольшому выступу с правой стороны облачной полосы. Этот выступ представляет собой остатки облачности теплого фронта. Исследование облачных полос фронтов окклюзии показывает, что на синоптической карте облачной спирали этого фронта соответствует передняя часть циклона. Со временем фронт окклюзии может трансформироваться в холодный, теплый или стационарный фронт. В этом случае облачная полоса начинает приобретать характерные признаки и конфигурацию соответствующих облачных систем.

Установлено, что в свободной атмосфере облачная полоса фронта окклюзии совпадает с положением оси термического гребня в нижней половине тропосферы.

В зоне прояснения и развития кучевообразной облачности в свободной атмосфере имеет место высотная ложбина или циклон и очаг холода. приведен пример облачной системы фронтов окклюдирующегося циклона. Облачная полоса, имеющая вид дуги, сформированная из кучево-дождевой, кучевообразной и перисто-образной облачности, соответствует холодному фронту. К фронту со стороны холодного воздуха примыкает широкая безоблачная зона.

Облачная полоса стационарного фронта обычно не имеет циклонической или антициклонической кривизны. Ширина ее порядка 200-300 км, структура неоднородна, с частыми прояснениями. Средняя протяженность облачных полос стационарного фронта намного больше, чем протяженность облачных спиралей, связанных с быстро перемещающимися фронтами.

На синоптической карте линия приземного фронта совпадает чаще всего с центральной частью облачной полосы. В тех случаях, когда фронт совершает небольшое поступательное движение, линия фронта у поверхности Земли смещается в тыловую часть облачной полосы. Изобары на синоптической карте образуют, как правило, деформационное поле. В свободной атмосфере таким облачным полям соответствует мало градиентное поле изогипс.

Облачная полоса стационарного фронта с волнами имеет широтное направление, ширина ее достигает 300-400 км. Она сформирована из слоистообразной и кучевообразной облачности. В верхней части снимка отмечается кучево-дождевая облачность. О наличии волн свидетельствуют утолщения облачной полосы.

Анализ оптических космических снимков показывает, что в нижней атмосфере часто наблюдаются мезомасштабные конвективные облачные образования – результат ячейковой конвекции.

Ячейковая конвекция обычно наблюдается над водной поверхностью и занимает большие площади. Сам факт их существования свидетельствует о том, что нижний слой атмосферы является неустойчиво стратифицированным. Конвективные ячейки являются примером упорядоченных пространственных структур в поле облачности над океаном, которые обнаруживаются на спутниковых изображениях, полученных в видимом диапазоне. Горизонтальные размеры этих систем варьируют в пределах от нескольких

километров до нескольких десятков километров. В большинстве случаев облачность в облачных ячейках сгруппирована из ячеек округлой или полигональной формы, которые часто выстроены в полосы или гряды, а также имеют ряд переходных форм (рисунок 8).

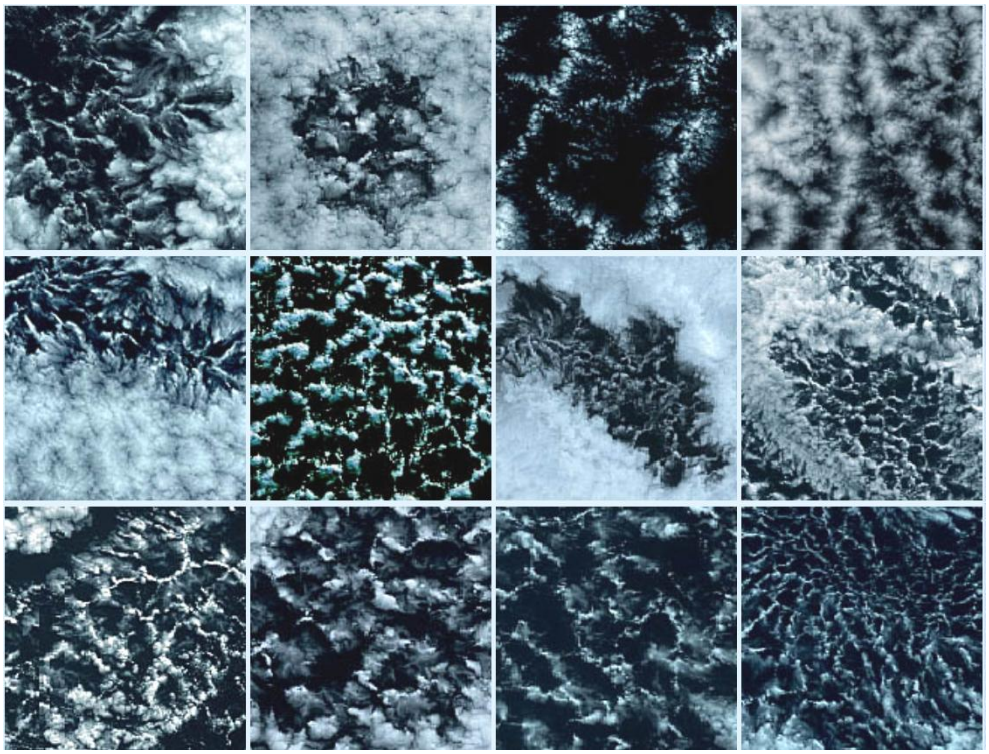


Рисунок 8 – Облачные ячейки (спутниковый снимок).

Наблюдение поверхности, облаков, атмосферной нестабильности в дальнем ИК диапазоне. Применяется для оценки и коррекции прогнозированного вертикального распределения температуры и влажности, обнаружения атмосферной нестабильности и высотных перистых облаков.

В этом отображении усилен контраст для выявления холодных областей верхней поверхности облаков. Желтый и красный цвета соответствуют холодным областям, синие и голубые цвета обозначают более теплые облака.

Оценка количества влажности верхней тропосферы (яркий зеленый цвет означает более высокую тропосферную влажность).

В то время как высокие и средние облака легко отслеживаются, низкоуровневые облака трудно идентифицировать. Низкоуровневые облака появляются как неоднородная структура в цвете соответствующей воздушной массе.

Очень низкие облака нельзя отличить удовлетворительно. Кроме непосредственно конвекции, этот вид изображений позволяет определить положение струйных течений, области сухого воздуха, опускающегося из нижних слоев стратосферы, а также помогает различить ВМ (воздушные массы) с высоким (тропические) и низким (полярные ВМ) содержанием озона.

Мезомасштабные конвективные системы – облака ярко-белого цвета, вершины которых достигают больших высот.

Фиолетовые области указывают на области с холодными воздушными массами и низкой тропопаузой.

Зеленые области соответствуют теплым ВМ. Эти области характеризуются более высоким положением тропопаузы, а также низким содержанием озона.

Красный и темно-красный цвет указывают на области, где возможны нисходящие движения сухого воздуха из нижних слоев стратосферы.

1.3.2. Облачные системы различного масштаба и их связь с метеорологическими процессами

Облачные системы – это значительные по своим пространственным масштабам группы различных облаков, образующиеся в ходе тех или иных синоптических процессов. Основными типами синоптических процессов, формирующих те или иные системы облаков, являются атмосферные фронты и вихри (циклоны и антициклоны).

Характер облачности в зоне теплого атмосферного фронта определяется массовым восхождением теплого и влажного воздуха по клину холодного. Это сопровождается его охлаждением и изменением всех гигрометрических характеристик. В результате образуется облачность, практически полностью располагающаяся перед линией фронта.

Основными составляющими этой облачной системы являются облака:

-Ci- Cs . расположенные на высотах 8-10 км и на расстояниях от линии фронта 100-700км;

-As -Ns, расположенные на высотах до 6 км и на расстояниях от линии фронта, как правило, до 60км,

При приближении теплого фронта первыми появляются облака -Ci- Cs. Из этих облаков атмосферные осадки не выпадают.

Спустя некоторое время появляются высоко - слоистые облака (As), из которых возникают моросящие осадки постепенно (с приходом облаков Ns) переходящие в осадки обложные.

Аналогичные облачные системы формируются в зоне холодных фронтов 1-го рода (или анафронтов). Эти атмосферные фронты движутся со скоростями сотни м/ч- единицы км/ч. В итоге теплый воздух перед ними успевает отступить. При этом теплый воздух по клину холодного поднимается вверх и образует такую же облачную систему, как и облачная система, возникающая в зоне теплого атмосферного фронта.

В отличие от нее в данном случае облака следуют над наблюдателем в обратном порядке. Непосредственно перед линией фронта расположен вал облаков Ns,, из которых внезапно начинают выпадать обложные осадки. Спустя некоторое время эти осадки ослабевают, переходя в моросящие, выпадающие из облаков As. Затем осадки прекращаются, а облака поднимаются еще выше, превращаясь в уходящие за горизонт перистые -Ci- Cs.

Основные отличия погоды в зоне анафронта от погоды в зоне теплого атмосферного фронта не сводятся к одной лишь обратной последовательности смены облаков и осадков.

Холодный фронт второго рода наблюдается при больших скоростях движения холодного воздуха. При подходе этого фронта теплый воздух не успевает отступить и перед натиском холодного воздуха бурно взмывает вверх. Возникают интенсивные восходящие потоки теплого влажного воздуха, формирующие специфическую облачность.

Непосредственно перед таким холодным фронтом (на удалениях от него до 10 км) в теплом воздухе образуются облака вертикального развития Cb, высота которых достигает 10 и более км. Из них выпадают ливневые осадки; возможен град, грозы, смерчи и шквалы.

Теплый и влажный воздух начинает ответвляться от восходящих потоков и формировать воздушный поток, направленный от фронта на высоте 4-6 км. В этом потоке формируются отдельные облачные массивы, напоминающие огромных рыб, линзы или дирижабли. Появление этих облаков (Ac-lent) является признаком приближения холодного фронта второго рода.

В холодном воздухе (после прохождения холодного фронта) могут наблюдаться облака Cu cong, постепенно переходящие в Cu и далее в As и C. Осадки начинаются резко, но постепенно ослабевают, становятся моросящими и прекращаются.

Фронты окклюзии образуются при взаимодействии трех воздушных масс (если холодный фронт догоняет теплый). В результате этого взаимодействия холодные воздушные массы смыкаются у земной поверхности, выдавливая теплый воздух на высоту. Благодаря этому в зоне фронтов окклюзии облачность развивается по обе стороны от фронта. Вблизи зоны окклюзии (в теплом воздухе) располагаются облака Cb, высота оснований которых над земной поверхностью со временем возрастает. Из них выпадают ливневые осадки (интенсивность которых по мере поднятия облаков ослабевает). На периферии (по обе стороны от фронта) эти облака переходят в As.

Осадки постепенно из ливневых, превращаются в обложные и далее – в моросящие.

На высотах 8-10 км над зоной окклюзии располагаются облака Ci- Cs.

Еще одной разновидностью синоптических процессов, обуславливающих образование облачных систем, являются циклоны и антициклоны. Процессы, приводящие к их образованию, рассмотрены в лекции 5 по основам теории катастроф.

Облачная система, сопутствующая молодому циклону и циклону на стадии максимального развития содержит три зоны.

Первая зона соответствует передней и центральной части холодной половины циклона перед теплым фронтом. Здесь структура облачности аналогична рассмотренной выше облачности перед теплым атмосферным фронтом. При быстром углублении циклона в его центре формируются мощные облака Ns, дающие интенсивные обложные осадки.

Если влаги в воздухе недостаточно, то эти облака не успевают полностью развиться, а выпадающие из них осадки менее интенсивны, переходя в морось,

Вторая зона – соответствует тыловой части холодного сектора циклона за холодным фронтом. Ближе к центру молодого циклона этот фронт по своим свойствам ближе к холодному фронту 2-го рода. На периферии - к холодному фронту 1-го рода. Здесь образуются облака те же, что и в зонах упомянутых холодных фронтов; их особенности определяются свойствами холодной неустойчивой воздушной массы.

Из типичных для этой зоны облаков СЬ выпадают интенсивные и кратковременные ливневые осадки; возможен град и грозы.

Третья зона – теплый сектор циклона (теплый воздух между теплым и холодным фронтами). Здесь преобладают облака As и осадки моросящего типа.

В окклюдированном циклоне теплый сектор смещен на дальнюю периферию. Поэтому в нем выделяют две погодные зоны.

В обширной передней части окклюдированного циклона преобладает многослойная облачность (As -Ns); формируются обширные области осадков. В тыловой части окклюдированного циклона облачная система аналогична облачности второй зоны молодого циклона (с той разницей, что в его центре формируются облака, аналогичные возникающим в зоне холодного атмосферного фронта 1-го рода).

Структура облачных систем, формирующейся в антициклонах, во многом определяется слоями инверсии. Эти слои, как правило, располагаются в центральной части антициклонов.

Под этими слоями могут возникать облака Sc- St практически не дающие осадков, а также радиационные туманы. На периферии антициклонов структура облачности аналогична структуре облачности в граничащих с ними зонах циклонов.

Облачность, существенно влияющая на радиационный и тепловой баланс территорий, является одним из существенных параметров климата.

Для количественной характеристики облачных систем в климатологии используется повторяемость ясного и пасмурного неба по общей и нижней облачности, а также среднее месячное число пасмурных и ясных дней.

Повторяемость пасмурного неба по общей облачности и число пасмурных дней в среднем за год больше ясного состояния и числа ясных дней. Как и следовало ожидать, эти характеристики, по отношению к рассмотренным выше, имеют обратный годовой ход (в месяцы, когда ясных дней больше, меньше дней пасмурных и наоборот).

Число пасмурных дней в тот или иной месяц год от года изменяется. Как показывают наблюдения, наиболее значимыми факторами изменчивости этого параметра в Восточной Европе являются солнечная активность, а также взаимодействие северной части Атлантического океана и атмосферы.

1.4. Типы искусственных спутников земли и их характеристика

1.4.1. Метеорологические спутники Земли

Метеорологический спутник – искусственный спутник Земли, созданный для получения из космоса метеорологических данных о Земле, которые используются для прогноза погоды. Спутники этого типа несут на борту приборы, с помощью которых наблюдают, в частности за температурой поверхности Земли и облачным, снеговым и ледовым покровом. Методы получения метеоинформации и способы её обработки с помощью метеоспутников изучает спутниковая метеорология.

Основные задачи, решаемые с помощью метеорологических спутниковых систем:

Контроль за состоянием атмосферы и поверхности, в частности, обнаружение опасных погодных явлений, стихийных бедствий и катастроф.

Осуществление прогнозов погоды различной долговременности.

Исследования климата Земли и прогноз его возможных изменений.

Научно-исследовательские задачи в области физики атмосферы, метеорологии и климатологии (исследование облачности, барических образований, струйных течений, верхней атмосферы, солнечно-земных связей и др.)

Метеоспутники вместе со станциями приёма и обработки данных образуют метеорологическую космическую систему. В США уже в апреле 1960 года был запущен аппарат «Тирос-1» доказавший пригодность спутников для наблюдения за погодой. Глобальная спутниковая система «Тирос» была развёрнута в феврале 1966 года.

С начала 2000-х годов продолжается создание комплекса «Метеор-3М». Кроме того, в число метеорологических спутников России вошли два аппарата комплекса «Электро-Л». С первым их них, проработавшим на орбите 5 лет и 8 месяцев, связь была потеряна в 2016 году, второй продолжает работать. В США, помимо системы TIROS, были разработаны и использовались космические аппараты серий Nimbus, ESSA, NOAA, GOES. Несколько аппаратов серий NOAA и GOES находятся в эксплуатации в настоящее время. Европейские спутниковые метеосистемы представлены сериями Meteosat двух поколений, MetOp, а также прекратившие работу ERS и Envisat – один из крупнейших аппаратов, выведенных на околоземную орбиту Европейским космическим агентством.

Космические аппараты, входящие в метеокомплексы, делятся на два типа по параметрам орбиты и, соответственно, по назначению: геостационарные и полярноорбитальные спутники. Запуск геостационарных спутниковых систем производится в экваториальной плоскости, в направлении вращения Земли на высоту 36 786 км над уровнем моря. Угловая скорость их соответствует скорости вращения планеты. Имея такие орбитальные характеристики, спутники этого типа находятся всегда над одной точкой, если не учитывать колебания и «дрейф», вызванные погрешностями при выводе на орбиту и

гравитационными аномалиями. Они постоянно наблюдают одну область, составляющую около 42 % земной поверхности – немного меньше, чем полушарие. Эти спутники не позволяют наблюдать области самых высоких широт и не дают детального изображения, зато предоставляют возможность непрерывного слежения за обстановкой в крупных регионах. Полярные спутники. Аппараты этого типа движутся по гораздо более низким орбитам – от 850 до 1000 км, вследствие чего не обеспечивают широкого охвата наблюдаемой территории. Однако орбиты их обязательно проходят над полюсами Земли, и один спутник такого типа способен за определенное количество витков «снять» всю поверхность планеты узкими (около 2500 км) полосами с хорошим разрешением. При одновременной работе двух спутников, находящихся на солнечно-синхронных полярных орбитах, обзор каждого района производится с интервалом 6 часов.

Космический аппарат, предназначенный для метеонаблюдений, состоит из двух модулей: служебного (спутниковая платформа) и несущего полезную нагрузку (приборы). В служебном отсеке размещается энергетическое оборудование, обеспечивающее питание от солнечных батарей, укрепленных на нем вместе с радиатором и двигательной системой. К рабочему модулю подсоединен радиотехнический комплекс, оснащенный несколькими антеннами, и датчики мониторинга гелиофизической обстановки. Стартовая масса таких аппаратов обычно достигает нескольких тонн, полезная нагрузка – от одной до двух тонн. Рекордсмен среди метеоспутников – европейский «Энвисат» – имел стартовую массу свыше 8 тонн, полезную – более 2 тонн при размерах 10 × 2,5 × 5 м. С развернутыми панелями ширина его достигала 26 метров. Габариты американского GOES-R – 6,1 × 5,6 × 3,9 м при почти 5200 кг стартовой и 2860 кг сухой массы. Российский «Метеор-М» № 2 имеет диаметр корпуса 2,5 м, длину – 5 м, ширину при развернутых солнечных панелях – 14 м. Полезная нагрузка спутника – около 1200 кг, стартовая масса составила немного менее 2800 кг.

Как правило, метеоспутники несут в составе своего аппаратурного комплекса два типа приборов: Обзорные. С их помощью получают телевизионные и фотоизображения поверхности суши и океанов, облачного, снежного и ледового покрова. В числе этих приборов – не менее двух устройств многозональной съемки в различных диапазонах спектра (видимом, микроволновом, инфракрасном). Они производят съемку с разным разрешением. Спутники также оснащаются установкой радарного сканирования поверхности. Измерительные. Посредством приборов этого типа спутник собирает количественные характеристики, отражающие состояние атмосферы, гидросферы и магнитосферы. К таким характеристикам относятся температура, влажность, радиационная обстановка, текущие параметры геомагнитного поля и т. д. В состав полезной нагрузки метеорологического спутника входит также бортовая система сбора и передачи данных (рисунок 9).

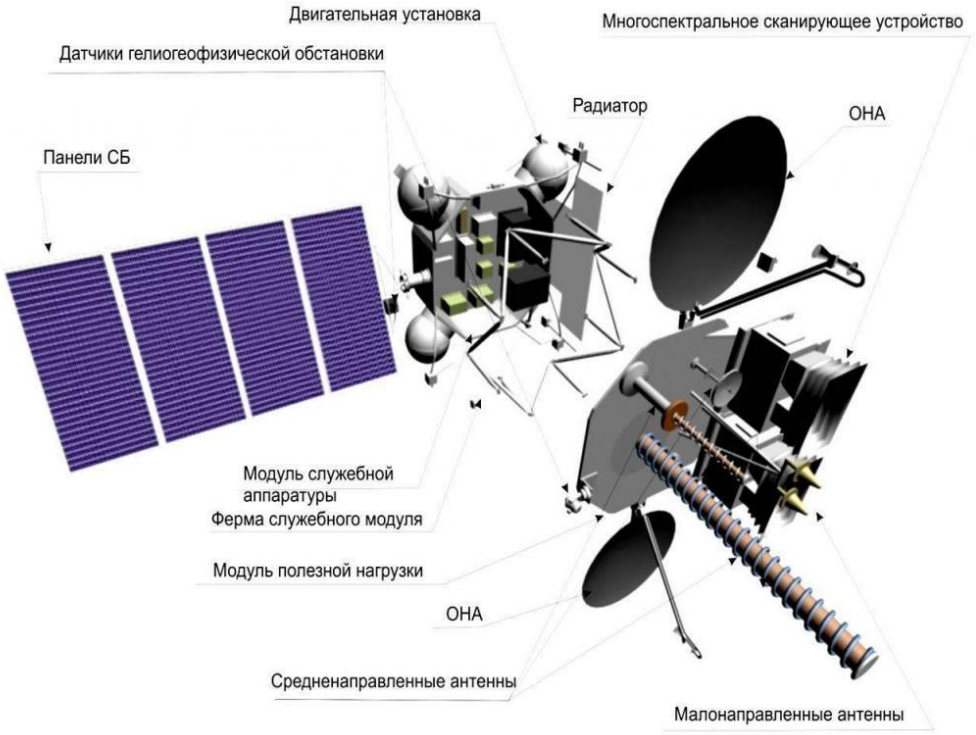


Рисунок 9 – Строение метеорологического искусственного спутника.

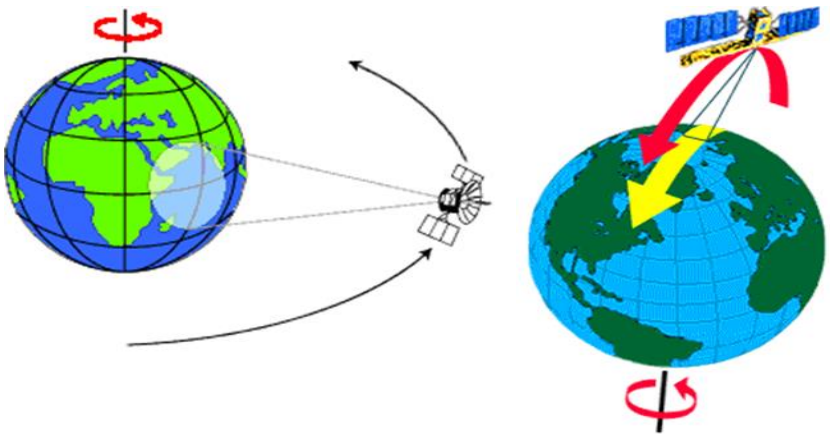
Спутник может работать как в режиме запоминания информации с последующей передачей пакета данных на наземный комплекс приема и обработки, так и вести непосредственную прямую передачу. Получаемые наземным комплексом спутниковые данные подвергаются дешифрированию, в ходе которого осуществляется привязка информации по времени и картографическим координатам. Затем данные с разных космических аппаратов объединяются и подвергаются дообработке с созданием наглядно воспринимаемых изображений. Всемирной метеорологической организацией принята концепция «открытого неба», декларирующая свободный доступ к метеорологической информации – незашифрованным данным, поступающим в режиме реального времени со спутников. Для этого необходимо иметь соответствующее приемное оборудование и программное обеспечение.

Космические аппараты, входящие в метеокомплексы, делятся на два типа по параметрам орбиты и, соответственно, по назначению:

Геостационарные – орбиты, для которых угловая скорость движения спутника совпадает со скоростью вращения Земли. Особенности: плоскость орбиты спутника совпадает с экваториальной плоскостью, радиус орбиты 36 тыс. км, спутник находится все время над одной точкой Земной поверхности и зона его наблюдения ограничена пределами 50° СШ – 50° ЮШ, для такого спутника трудно обеспечить высокое разрешение аппаратуры, это, как правило, спутники связи, но есть геостационарные спутники наблюдения за погодой и облачностью.

Геополярные – угол наклонения орбиты близок к 90°, т.е. орбита практически перпендикулярна плоскости экватора. Радиус орбиты порядка 1

тыс. км. Такие спутники относятся к низкоорбитальным системам. Особенности: спутник через определенный промежуток времени, зависящий от ширины полосы обзора, оказывается над районом наблюдения – сеансы наблюдения одних и тех же областей поверхности обычно проходят в различное местное время при разных условиях освещения солнцем, что сильно затрудняет сопоставление данных, поэтому такие спутники выводят, как правило, на «солнечно синхронные» орбиты, при этом выгоднее, чтобы восходящее движение спутника походило над теневой, а нисходящее над освещенной стороной земной поверхности (рисунок 10).



А) Геостационарная геосинхронная орбита

Б) Полярная солнечносинхронная Орбита

Рисунок 10 – Основные орбиты размещения группировок метеорологических спутников.

Запуск геостационарных спутников производится в экваториальной плоскости, в направлении вращения Земли на высоту 36 786 км над уровнем моря. При этом их угловая скорость соответствует скорости вращения планеты. Имея такие орбитальные характеристики, спутники этого типа находятся всегда над одной точкой, если не учитывать колебания и «дрейф», вызванные погрешностями при выводе на орбиту и гравитационными аномалиями. Они постоянно наблюдают одну область, составляющую около 42 % земной поверхности – немного меньше, чем полушарие. Эти спутники не позволяют наблюдать области самых высоких широт и не дают детального изображения, зато предоставляют возможность непрерывного слежения за обстановкой в крупных регионах.

Полярные спутники движутся по более низким орбитам – от 850 до 1000 км, вследствие чего не обеспечивают широкого охвата наблюдаемой территории. Однако орбиты их обязательно проходят над полюсами Земли, и один спутник такого типа способен за определенное количество витков «снять» всю поверхность планеты узкими (около 2500 км) полосами с хорошим разрешением. При одновременной работе двух спутников, находящихся на

солнечно-синхронных полярных орбитах, обзор каждого района производится с интервалом 6 часов.

Как правило, метеоспутники несут в составе своего аппаратного комплекса два типа приборов: обзорные и измерительные.

Обзорные. С их помощью получают телевизионные и фотоизображения поверхности суши и океанов, облачного, снежного и ледового покрова. В числе этих приборов – не менее двух устройств многозональной съемки в различных диапазонах спектра (видимом, микроволновом, инфракрасном). Они производят съемку с разным разрешением. Спутники также оснащаются установкой радарного сканирования поверхности.

Измерительные. Посредством приборов этого типа спутник собирает количественные характеристики, отражающие состояние атмосферы, гидросферы и магнитосферы. К таким характеристикам относятся температура, влажность, радиационная обстановка, текущие параметры геомагнитного поля и т. д.

Срок действия спутников ограничен и зависит от высоты его орбиты и установленной на нем аппаратуры.

Низкоорбитальные спутники, испытывающие влияние земной атмосферы, требуют постоянной коррекции орбиты и срок их службы определяется запасом необходимого для этой цели топлива. Обычно применяемые космические жидкостные реактивные двигатели работают на маловодной перекиси водорода (концентрацией около 90%) или гидразине, разлагающихся в камере ЖРД в присутствии катализатора; образующийся высокотемпературный газ при истечении из сопла создает тягу. Запаса топлива может хватить на 10-15 лет, если коррекция проводится не слишком часто. Высокоорбитальным спутникам также требуется коррекция орбиты из-за влияния гравитационного поля Солнца, Луны и других планет.

Основное сокращение срока службы спутника происходит из-за разрушения приборов интенсивным электромагнитным и корпускулярным излучением Солнца. Частичная потеря качества отдельных приборов становится заметной уже после 5 лет эксплуатации.

Спутник может работать как в режиме запоминания информации с последующей передачей пакета данных на наземный комплекс приема и обработки, так и вести непосредственную прямую передачу. Получаемые наземным комплексом спутниковые данные подвергаются дешифрированию, в ходе которого осуществляется привязка информации по времени и картографическим координатам. Затем данные с разных космических аппаратов объединяются и подвергаются дообработке с созданием наглядно воспринимаемых изображений.

1.4.2. Основные виды метеорологической информации, получаемой с ИСЗ

Космические методы исследования Земли существенно изменили подходы к решению многих хозяйственных задач. Данные, получаемые с

ме-теорологических спутников Земли, позволяют проанализировать особен-ности процессов и явлений, протекающих в атмосфере и океане. Появле-ние качественно новых данных требует объективной оценки информатив-ности спутниковых наблюдений и их грамотной интерпретации.

Современный метеорологический искусственный спутник Земли (ИСЗ) – это автоматическая космическая обсерватория, обеспечивающая одновре-менное измерение радиационных потоков на различных участках спектра, а также получение изображений облачного покрова и подстилающей по-верхности в видимом и инфракрасном диапазонах. Метеорологические спутники передают важную информацию о состоянии облачного покрова, тепловом режиме системы «Земля - атмосфера», ледовой обстановке и т.д. Снимки облачности позволяют идентифицировать и проследить в глобальном масштабе различные синоптические объекты, такие как циклоны, фронтальные системы, струйные течения.

Снимки облачного покрова используются при анализе и прогнозе синоптического положения, эволюции барических образований, облачности и явлений погоды. Первостепенное значение они приобретают при анализе состояния погоды над морями и океанами, а также районами с редкой сетью метеорологических станций. Особенно важной является спутниковая информация для составления прогноза возникновения, эволюции и перемещения тропических циклонов. Огромное значение имеет возможность использования искусственных спутников для ледовой разведки над полярными районами планеты.

Космическая съемка Земли охватывает широкий спектр её электромагнитного излучения. Снимки, полученные в разных диапазонах спектров волн: видимом, инфракрасном и микроволновом, а также данные радиационных измерений, относятся к основным видам научной информации ме-теорологических спутников Земли. Начиная с запуска первых метеорологических ИСЗ и до настоящего времени шел непрерывный процесс совершенствования и развития как конструкции отдельных систем наблюдений, так и всего комплекса технических средств, входящих в состав метеорологических ИСЗ.

1.5. Получение, сбор, архивация и распространение информации спутниковых наблюдений. Дешифрирование

1.5.1. Получение информации спутниковых наблюдений

При построении современных систем мониторинга процесс получения спутниковых данных следует рассматривать достаточно широко. В настоящее время существует несколько схем получения данных. Наиболее распространенными из них являются непосредственный прием данных на станциях, входящих в состав систем мониторинга, и оперативное получение данных из различных специализированных центров приема и обработки данных. Следует отметить, что второй путь в настоящее время используется

наибольшим числом пользователей. Этот путь имеет несколько основных преимуществ. Так, он позволяет не расходовать средства на приобретение и поддержку достаточно дорогостоящих систем приема. Кроме того, можно достаточно быстро организовывать получение различных типов данных и до какой-то степени не зависеть от спутниковых систем, для которых были приобретены средства приема. Во многих случаях из специализированных центров может быть обеспечено получение не исходных («сырых») данных, а данных, прошедших уже достаточно глубокую первичную обработку, которые уже достаточно легко могут быть использованы для проведения специализированных тематических обработок. В последние годы все активнее развиваются крупные центры приема и обработки данных, основной задачей которых является обеспечение приема данных, формирование базовых стандартизованных продуктов первичной обработки и оперативное предоставление таких продуктов в специализированные системы мониторинга. Такие центры обычно обладают достаточно широким набором различных средств приема, которые обеспечивают возможность работы с разными спутниковыми системами, достаточно большими вычислительными ресурсами, необходимыми для осуществления оперативной автоматической обработки данных и организации долговременного хранения информации, а также хорошими внешними коммуникациями, обеспечивающими быстрый доступ пользователей к информации. Технические возможности таких центров при необходимости могут также обеспечивать автоматическую тематическую обработку данных в интересах конкретных специализированных систем.

Задачи архивации данных, как и задачи обработки, делятся на несколько основных этапов, каждый из которых имеет свою специфику. С технологической точки зрения архивы можно условно разделить на оперативные и долговременные. Задача оперативных архивов в основном заключается в обеспечении работы с информацией на этапе ее первой обработки. При этом в оперативных архивах можно организовывать хранение некоторых промежуточных результатов обработки. Фактически основной задачей оперативных архивов является достаточно удобный, быстрый и автоматический доступ к данным и различным процедурам их обработки. В долговременные архивы обычно попадают данные, уже прошедшие определенную обработку (однако не исключаются варианты, когда в долговременных архивах организуется резервное хранение и всей исходной информации). Основными задачами долговременных архивов является организация работы с большими объемами данных, которые могут находиться в различных хранилищах. С функциональной точки зрения современные архивы можно также условно разделить на архивы, обеспечивающие хранение исходных и промежуточных продуктов, и архивы, обеспечивающие хранение результатов тематической обработки. Первые архивы должны обеспечивать предоставление данных различным автоматизированным процедурам обработки и обмена информации, поэтому в них обычно не ставится задача обеспечивать выдачу информации в режиме, близком к реальному времени,

который необходим в первую очередь для проведения интерактивного анализа данных. Тематические архивы в основном обеспечивают хранение информации, которую могут анализировать уже конечные пользователи, или на базе нее по запросам пользователей формируются различные отчеты, карты, бюллетени и т.д. К таким архивам во многих случаях создается достаточно развитая система интерфейсов, рассчитанных на интерактивную работу. Поэтому одним из существенных требований к таким архивам является организация достаточно быстрого доступа к данным. В любом случае следует помнить, что системы архивации, рассчитанные на работу со спутниковыми данными наблюдения Земли, должны быть рассчитаны на работу с достаточно большими объемами данных. Сегодня емкость архивов даже не самых крупных центров обычно приближается или превосходит пентабайтные рубежи.

Очень важным этапом современных информационных систем, обеспечивающих работу со спутниковыми данными, является их первичная обработка. Еще не так давно к этой части обработки относили в основном декодирование потока данных, поступающих со спутников, включение различной дополнительной информации, необходимой для обработки (временные метки, условия освещенности, информация для проведения калибровок), а также запись данных в более или менее удобные для дальнейшей работы форматы. Сегодня, в связи с быстрым ростом числа тематических задач и требований к качеству информации, к первичной обработке предъявляются все более жесткие требования и границы ее существенно расширяются. Так в большинстве случаев первичная обработка данных должна обязательно обеспечить:

- качественную временную и географическую привязку (при этом в большинстве случаев точность привязки должна быть такой же или меньшей, чем пространственное разрешение используемого прибора);
- качественную калибровку, точность и стабильность которой в конечном итоге определяет круг задач, для которых в дальнейшем используются данные (для современных систем наблюдения такая точность должна составлять проценты, а иногда и доли процентов измеряемых величин);
- коррекцию на условия освещенности (особенно для приборов, работающих в диапазонах, в которых регистрируются потоки не только собственного излучения объектов, но и отраженное излучение);
- атмосферную коррекцию, которая по возможности при наблюдении объектов на поверхности земли или на границе низкой облачности должна обеспечивать исключение влияния атмосферы (естественно, что такие процедуры достаточно хорошо работают только в тех условиях наблюдения, когда атмосфера достаточно прозрачна и стабильна);
- перевод данных в географические проекции (в идеале с учетом рельефа);
- подготовка наборов данных для помещения их в архивы и передачи в процедуры тематической обработки.

Долгое время считалось, что данные после прохождения первичной обработки должны быть записаны в некоторых стандартных форматах,

вопросам разработки которых было посвящено значительное число работ. Однако в связи с тем, что с одной стороны данные становятся все боле разнообразными, а с другой стороны для проведения различной тематической обработки и анализа требуются иногда разные наборы данных, разработанные «стандартные» форматы становятся все более сложными и все менее удобными для работы. Поэтому во многих случаях при создании системы работы с данными конкретных приборов все чаще используются системы хранения, ориентированные на конкретную специфику прибора. При этом такие системы хранения могут обычно в автоматизированном режиме формировать разные наборы данных для дальнейшей обработки архивов

Особо следует отметить, что в первую очередь из-за того, что системы первичной обработки данных должны обеспечивать обработку достаточно больших практически постоянно поступающих потоков информации, они сегодня должны быть полностью автоматизированы. Конечно, поскольку сегодня в систему первичной обработки данных входят достаточно сложные процедуры (например, процедуры точной географической привязки и атмосферной коррекции), то создание таких систем требует обычно проведения достаточно серьезных разработок, которые во многом зависят от специфики конкретного прибора. Проведение таких разработок сегодня практически полностью ложится на плечи производителя спутниковой системы наблюдения и требует достаточно большого времени и финансовых затрат (эти затраты составляют достаточно значительную часть от производства спутниковой системы).

Следует рассмотреть примеры получения и расшифровки информации со спутниковых снимков.

Холодным фронтам на снимках со спутников соответствуют облачные полосы шириной 200 – 300 км и длиной 1000 км с хорошо выраженной циклонической кривизной, имеющие яркий тон изображения как в види-мом, так и в инфракрасном диапазоне. Линия фронта на земной поверхно-сти обычно находится в пределах облачной полосы.

Изображение облачности, связанной с теплым фронтом, на спутниковых снимках отличается большим разнообразием форм и размеров. Обычно теплые фронты сравнительно хорошо выражены в поле облачности в начальных стадиях развития циклонов. Облачная зона такого циклона на снимке имеет типичную полосную структуру шириной 300 - 500 км и длиной, чаще всего, не превышающей 500 - 1000 км, с характерной антициклонической кривизной, которая лучше видна на тыловой, более резко выраженной границе.

Облачность, связанная с фронтом окклюзии, представляет на снимке с ИСЗ плотную и яркую облачную полосу шириной около 300 км, имеющую форму спирали, центр которой находится в непосредствен-ной близости от центра циклонической циркуляции на уровне облаков или совпадает с ним. Если облачная полоса фронта окклюзии имеет резкую тыловую границу, то фронт окклюзии на земной поверхности проходит ближе к этой границе. Если тыловая граница размыта, то фронт окклюзии проходит ближе к центральной части

облачной полосы. Положение точки окклюдирования можно определить по небольшому расширению облачной полосы, оставшемуся от теплого фронта и расположенному с правой стороны облачной спирали (рисунок 11). Снимки, получаемые с метеорологических ИСЗ наряду с синоптиче-скими картами, являются исходным материалом для диагноза и прогноза синоптических процессов и условий погоды.

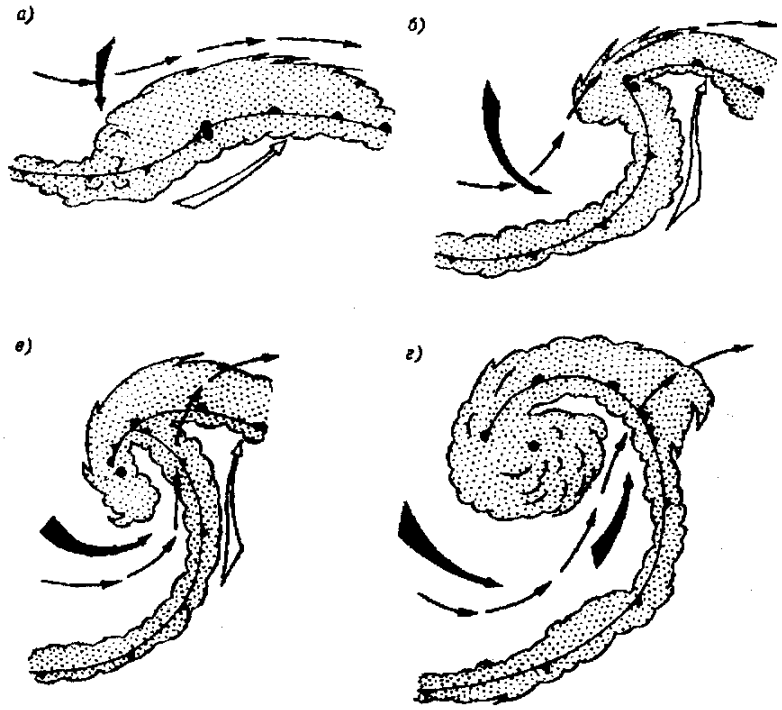


Рисунок 11 – Схема развития облачной системы циклона.

Использование снимков облачного покрова предполагает следующее: облачность не появляется беспричинно, она возникает при благоприятных условиях, способствующих конденсации водяного пара и, следовательно, присутствие облаков над каким-либо участком земной поверхности не следует рассматривать как случайное явление; тенденция развития синоптического процесса обнаруживается в поле облачности раньше, чем ее признаки можно заметить в поле температуры и давления. Поэтому изменение облачного покрова следует рассматривать как тенденцию в эволюции полей температуры и давления. Фронтальная облачность напрямую связана с циклонической деятельностью. Известно, что возникновение на квазистационарном фронте волны сопровождается деформацией термобарического поля. Теплый воздух получает тенденцию двигаться в сторону холодного, давление у гребня волны начинает понижаться. Это способствует развитию здесь циклонической циркуляции, сопровождающемуся преобразованием фронтальной облачной системы.

Если в начальный момент фронтальная облачность представляет собой довольно ровную полосу шириной 200 - 300 км и длиной 1000 - 2000 км, то возникающая на фронте волна приводит к сильной деформации облачной

полосы. На начальной стадии формирования циклона впереди волны формируется зона слоистой облачности, которая расширяется в сторону холодного воздуха, а в тыловой части фронтальная облачная полоса стано-вится уже и выгибается в сторону теплого воздуха (рисунок 11 а). Развиваясь, фронтальная волна превращается в молодой циклон, происходит дальнейшая деформация фронтальной облачной полосы, образуются две облачные спирали, которые сходятся в вершине волны и соответствуют теплому и холодному участкам фронта (рисунок 11 б). Процесс оклюдирования циклона приводит к смыканию облачных спиралей теплого и холодного фрон-тов и образованию облачной системы фронта окклюзии, которая удлиняется и плавно переходит в облачную спираль холодного фронта. Облачная спираль теплого фронта частично поглощается облачной спиралью фронта окклюзии, а частично размывается в процессе вытеснения теплого воздуха вверх (рисунок 11 в, г). Указанная последовательность в развитии облачной системы справедлива для всех циклонов, возникающих из волновых возмущений на полярных или арктических фронтах.

1.5.2. Сбор и архивация спутниковой информации

Комплекс научной аппаратуры предназначен для получения необходимой метеорологической информации о состоянии атмосферы и земной поверхности. Научная аппаратура подразделяется на обзорную, предназначенную для получения изображений облачности, ледового и снежного покрова и подстилающей поверхности, работающей в видимом и инфракрасном диапазонах, и измерительную аппаратуру, предназначенную для получения количественных характеристик величин собственного излучения системы «Земля-атмосфера». Научная аппаратура метеорологических ИСЗ работает в двух режимах: режиме запоминания (режим ЗИ), предназначенном для получения глобальной информации, т.е. всей получаемой информации при одном полном обращении спутника вокруг Земли, и режиме непосредственной передачи (режим АРТ), предусматривающем прямую передачу результатов измерений в моменты их выполнения. Тем самым обеспечивается возможность оперативного получения информации в любой точке земного шара. В данном режиме на метеорологических ИСЗ работает аппаратура обзорного типа. Прием и регистрация спутниковой информации осуществляется назем-ным комплексом аппаратуры приема и обработки. Различают наземные комплексы, предназначенные для приема и регистрации информации, поступающей как в режиме запоминания, так и в режиме непосредственной передачи (пункты приема информации - ППИ), а также такие, которые предназначены только для приема информации режима непосредственной передачи (автономные пункты приема информации - АППИ). Основной задачей пунктов АППИ является прием и регистрация информации обзорного типа. Получаемая с метеорологических ИСЗ информация в пунктах приема подвергается обработке и дешифрированию. Процесс дешифрирования изображений распадается на несколько этапов, первыми из которых являются временная и географическая

привязка. Под временной привязкой понимается определение моментов времени, когда произведены те или иные наблюдения, а под географической – установление и реализация связей между системой координат полученного изображения и системой координат, связанной с поверхностью Земли.

1.5.3. Дешефрирование данных

Процесс распознавания облачности, снега, льда и объектов земной поверхности, полученных в видимом и инфракрасном участках спектра, называется дешифрированием снимка. Основными дешифровочными при-знаками, позволяющими различать изображения облаков разного типа и земной поверхности, являются тон (яркость) и рисунок изображения. По характеру рисунка можно отличить облака от подстилающей поверхности и выявить пространственное распределение облачности. Основными факторами, позволяющими решить эту задачу, являются:

- различия в характере рисунка изображения подстилающей поверхности и облачного покрова;
- устойчивость изображения подстилающей поверхности по сравнению с рисунком облачности, обладающим пространственно-временной изменчивостью.

Рисунок изображения, воспроизводимый на снимках, является одним из основополагающих признаков идентификации многих синоптических объектов и процессов, протекающих в атмосфере. Среди основных элементов, используемых на спутниковых снимках, можно выделить полосы различной ширины и яркости, которые, как правило, соответствуют облачным системам атмосферных фронтов.

На качество дешифрирования космических изображений существенно влияют особенности их получения и методы обработки, полнота и тщательность подготовительных работ, применяемая технология, квалификация исполнителя и его навыки применительно к космическим снимкам и конкретному ландшафту. При использовании для обработки мелкомасштабных спутниковых снимков возникает необходимость дополнительно обращаться к космическим снимкам более крупного масштаба для дешифрирования деталей изображения и набора необходимых характеристик отображаемых объектов.

Сканированное с негатива фотоизображение, как правило, имеет пониженную разрешающую способность по сравнению с оригиналом. В таком случае, с целью повышения эффективности камерального дешифрирования, целесообразно для мелких трудночитаемых топографических объектов использовать традиционное инструментальное дешифрирование. То есть применять комбинированный метод дешифрирования, заключающийся в сочетании дешифрирования топографических объектов (большей их части) на экране дисплея. И традиционного дешифрирования фотоизображений (фотоотпечатков, диапозитивов) с использованием стереоскопа, интерпретоскопа или бинокулярного микроскопа. Важным преимуществом

цифровых изображений являются широкие возможности их корректировки в отношении изменения гаммы, яркости, контраста, динамического диапазона, а для многозональной съёмки добавляется ещё различные комбинации зон как применительно ко всему снимку, так и к отдельным его частям. Такие возможности позволяют выделять топографические объекты даже для тех участков изображений, на которых на исходных снимках эти объекты не дешифрируются. Для автоматизации дешифрирования цифровых изображений можно использовать различные программные средства, предназначенные для сегментации и идентификации по фототону площадных объектов почвенно-растительного покрова и некоторых других типов объектов.

1.6. Метеорологические спутниковые системы. Общая характеристика гидрометеорологической информации со спутников

Энергия в океане и атмосфере перемещается постоянно, поэтому спутники могут получать очень много интересных данных обо всех этапах этого процесса. Рассмотреть, как перемещается тепло, и проследить связь между океаном и разными слоями атмосферы — и есть одна из глобальных задач спутников. При этом учитывается солнечное излучение и собственное излучение Земли с ее парниковым эффектом и облачностью. Целостная картина происходящего с климатом нашей планеты складывается из огромного множества взаимосвязанных между собой факторов. В том числе серьезное влияние оказывают моря и океаны. Спутники анализируют океаническую топографию с учетом уровня соли в воде и скорости ветра. Отмечается малейшее движение воды в Мировом океане и изменение его уровня.

Конструкция космических аппаратов достаточно сложная, но понять общий принцип все-таки можно. В аппарате есть два основных модуля:

-дополнительный модуль для оборудования;

-базовая спутниковая платформа.

На платформе размещается все самое сложное оборудование, обеспечивающее работу всех основных функций спутника, начиная от питания от солнечных батарей и заканчивая двигательной системой. Вся аппаратура по мониторингу и датчики для метеорологических исследований располагаются в свою очередь на дополнительном модуле. В результате вес у аппаратов получается достаточно внушительным. Например, у европейского Envisat он составлял целых 10 тонн и имел ширину до 26 метров включительно. Для сравнения российский «Метеор-М» имеет 2 с половиной метра в длину и 5 в ширину, а его общий вес равен всего лишь 4000 килограмм. Американский спутник GOES-R чуть больше российского по длине и имеет общий вес в 8060 килограммов.

Оборудование спутников может быть обзорным и измерительным. С помощью обзорного получают конкретную «картинку» происходящего в нескольких диапазонах с разным разрешением. Дополнительно поверхность анализируют с помощью радарного сканирования. Измерительные приборы

фиксируют более конкретные характеристики, чтобы исследовать состояние атмосферы на всех уровнях, начиная от температуры и влажности и заканчивая магнитными полями. На Землю исследователям информация поступает с помощью специальной бортовой системы для систематизации и отправки данных.

Как только данные получены, начинается следующий этап работы. Информацию расшифровывают и развертывают по координатам и времени, после этого данные объединяют по группам и анализируют наглядно, используя также переданные изображения. На сегодняшний день было принято решение, что все незашифрованные данные со спутников может получить любой человек в реальном времени, если имеет для работы подходящее оборудование. Это дает гораздо больше интересных возможностей для всех любителей космических исследований.

Сканирующие радиометры, микроволновые и ИК-зондировщики на борту метеорологических спутников предоставляют необходимую информацию для получения значительного набора данных:

- температура и влажность воздуха,
- температура поверхности океана и суши,
- содержание хлорофилла вводе,
- температура и высота верхней границы облачности,
- интенсивность осадков,
- маска облачности и снежного покрова,
- водозапас снега,
- интегральное содержание и вертикальный профиль озона,
- аэрозольная оптическая толщина атмосферы,
- точки пожаров,
- вегетационные индексы.

Оперативность поступления, большое число спутников и значительная ширина полосы обзора (>2000 км) обеспечивает обновление данных до нескольких раз в час. Использование данных с метеорологических спутников позволяют улучшить точность сверхкраткосрочного прогноза погода, повысить заблаговременность предупреждений о неблагоприятных явлениях погоды. Данные также применяются для решения задач в сферах агрометеорологии, гидрологии, океанологии, авиационной метеорологии и других. Данные с метеорологических спутников также играют важную роль для мониторинга пожаров, наводнений, пыльных и песчаных бурь, мощной конвекции и других потенциально опасных природных явлений. Метеорологические спутники Земли имеют уже очень много возможностей для наблюдения за погодой, но это далеко не предел. Планируется изучать и мониторить стихийные бедствия и долговременные климатические изменения. Все опасные явления и природные угрозы будут фиксироваться. Не говоря уже о постоянных изменениях в атмосфере и магнитном поле. Наука становится не только фундаментальной, но и более прочно имеет влияние на все отрасли нашей жизни, что может принести еще больше открытий в ближайшем будущем.

1.7. Восстановление метеовеличин по данным спутникового наблюдения земли

1.7.1 Восстановление метеовеличин

Наблюдения обладают основополагающим значением для нашего понимания того, каким образом система Земли: ее атмосфера, океаны, пресноводные водоемы, суша и биосфера, - формирует погоду, климат и гидрологические условия. В настоящее время свыше 10000 наземных метеорологических станций, с персоналом и автоматических, 1000 аэрологических станций, 7000 судов, 100 заякоренных и 1000 дрейфующих буев, сотни метеорологических радиолокаторов и 3 000 специальным образом оборудованных коммерческих самолетов ежедневно производят замеры по основным параметрам атмосферы, суши и поверхности океана.

Мощные компьютеры в центрах ВМО по всему миру обрабатывают данные, собираемые с десятков тысяч наземных и морских средств наблюдения и со спутников для наблюдений за Землей. Эти данные используются в численных моделях, основанных на физических законах, в целях подготовки, связанных с погодой, климатом и водой прогнозов, предсказаний и информационной продукции для использования в повседневной жизни и в принятии решений на долгосрочную перспективу.

В настоящее время на Земной орбите находится порядка 10 спутников, используемых в метеорологических целях. Эти спутники непрерывно сканируют поверхность и атмосферу Земли и осуществляют непосредственный сброс информации на землю в соответствующие научные центры, лаборатории и всем, кто может принять. Приемная станция, находящаяся в зоне радиовидимости спутника, в реальном времени видит то, что видит спутник. Данные с него поступают непосредственно в момент съемки. Аппаратное изображение принимается не только в видимом спектре, но и на некоторых частотах инфракрасного диапазона. Правильнее даже сказать, что все основные каналы – инфракрасные, их намного больше. Эти каналы намного важнее для практических целей, потому что в них можно выделить водяной пар, дым, тепловое излучение от лесных пожаров или определить температуру поверхности планеты. С помощью таких снимков можно определить даже созревание урожая на колхозных полях.

Среди параметров физического состояния подстилающей поверхности, таких как соленость, степень волнения, состояние ледяного покрова для водной поверхности и влажность, степень шероховатости, наличие и состояние растительного покрова для поверхности суши, в настоящее время наибольший прогресс достигнут при дистанционном измерении с ИСЗ температуры подстилающей поверхности Ts.

1.7.2. Температура по результатам орбитальных наблюдений

Спутниковые измерения температуры представляют собой выводы о температуре атмосферы на различных высотах, а также температуры поверхности моря и суши, полученные в результате радиометрических измерений со спутников. Эти измерения могут быть использованы для определения местоположения атмосферных фронтов, мониторинга Эль-Ниньо-Южного колебания, определения силы тропических циклонов, изучения городских островов тепла и мониторинга глобального климата. Лесные пожары, вулканы и промышленные очаги также могут быть обнаружены с помощью тепловизионных изображений с метеорологических спутников. Метеорологические спутники не измеряют температуру напрямую. Они измеряют излучение в различных диапазонах длин волн. С 1978 года микроволновые зонды (СВЧ) на полярно-орбитальных спутниках Национального управления океанических и атмосферных исследований измеряют интенсивность восходящего микроволнового излучения от атмосферного кислорода, которая связана с температурой широких вертикальных слоев атмосферы. Измерения инфракрасного излучения, относящегося к температуре поверхности моря, проводятся с 1967 года. Спутники измеряют излучение в различных диапазонах длин волн, которые затем должны быть математически инвертированы для получения косвенных выводов о температуре. Результирующие температурные профили зависят от деталей методов, используемых для получения температуры по излучениям. В результате, различные группы, которые анализировали спутниковые данные, создали разные наборы данных о температуре. Спутниковые временные ряды неоднородны. Он построен из серии спутников с похожими, но не идентичными датчиками. Датчики также со временем изнашиваются, и необходимы коррекции орбитального дрейфа и затухания. Особенно большие различия между реконструированными температурными рядами возникают в те редкие моменты, когда временное перекрытие между последовательными спутниками невелико, что затрудняет взаимную калибровку.

Среди параметров физического состояния подстилающей поверхности, таких как соленость, степень волнения, состояние ледяного покрова для водной поверхности и влажность, степень шероховатости, наличие и состояние растительного покрова для поверхности суши, в настоящее время наибольший прогресс достигнут при дистанционном измерении с ИСЗ температуры подстилающей поверхности Ts (IR диапазон).

Определение температуры поверхности моря. В инфракрасной области спектра излучения поверхность моря имеет излучательную способность, близкую к единице. Для определения ее радиационной температуры используется измерение длинноволновой радиации на верхней границе атмосферы в области спектра излучения 8–12 мкм. Эта температура может существенно отличаться от температуры морской воды, измеряемой контактными методами, из-за неточностей, географической привязки измерений, низкого пространственного разрешения спутниковой аппаратуры,

поглощения уходящего излучения водяным паром, озоном или аэрозолем, а также потому, что радиационная температура отражает усредненное по площади тепловое состояние тонкой (около 1 мм толщиной) излучающей пленки на поверхности воды, а физическая температура — состояние верхнего перемешанного слоя воды толщиной в десятки и сотни метров.

Точность дистанционного определения температуры поверхности моря по данным спутниковых наблюдений составляет в среднем 1 К, и в поле этой температуры хорошо прослеживаются поверхностные фронты, зоны апвеллинга, мезомасштабные циркуляции (вихри), течения. Определение температуры поверхности суши. Большинство типов земной поверхности (снег, растительность, отдельные виды почв) излучают почти как абсолютно черное тело. Однако некоторые из них (еловый лес, сухой кварцевый песок и др.) заметно отличаются излучательной способностью от абсолютно черного тела. Поскольку коэффициенты излучения многих естественных излучающих земных поверхностей известны, то проблему корректного определения их радиационной температуры можно решить при наличии наземной географической привязки и соответствующего банка априорных данных.

Ошибка в задании коэффициента излучения в 0,01 обусловливает неточность в определении температуры поверхности суши до 1 К.

Определение температуры верхней границы облачности. Радиационную температуру излучающей поверхности облаков определяют по измеренному спутником излучению в окне прозрачности атмосферы 8–12 мкм. Эта температура мало отличается от физической, поскольку верхние слои атмосферы над облачностью достаточно «сухие» и не оказывают существенного влияния на излучение. По известному распределению температуры воздуха с высотой и измеренной (рассчитанной) радиационной температуре можно определить высоту излучающей поверхности облаков. Проще всего задача решается при наличии данных аэрологического зондирования в районе исследования. Если такая информация отсутствует, можно использовать климатические, расчетные или стандартные данные о вертикальном распределении температуры. Точность определения верхней границы облаков колеблется от нескольких сотен метров до 1–2 км.

Существующие методики эффективны для слоистообразной или многоярусной сплошной облачности, а также для облаков вертикального развития. По результатам обработки инфракрасной информации ИСЗ составляются карты высоты верхней границы облаков.

Вертикальное распределение температуры и влажности в атмосфере исследуют совместно на основе спектральных измерений уходящего излучения в области полос диоксида углерода (15 мкм) и водяного пара (6,3 мкм) в следующей последовательности:

По излучению в полосе диоксида углерода, концентрация которого в атмосфере в общем-то известна, восстанавливается термическая стратификация T(p) как функция давления на стандартных (изобарических) уровнях;

По восстановленному профилю температуры T(p) определяют вертикальное распределение массовой доли водяного пара q(p) по излучению в полосе водяного пара;

Уточняют профиль температуры T(p) с учетом перекрытия полос диоксида углерода и водяного пара в области 15 мкм.

Термическое зондирование атмосферы. Определение термической стратификации T(p) по уравнению радиационного переноса осуществляется в предположении равномерности и постоянства распределения поглотителя (диоксида углерода) в атмосфере, независимо от высоты, местоположения района зондирования, времени года. Строгий количественный учет влияния на функцию пропускания, следовательно, и на регистрируемое излучение паров воды, озона и аэрозоля затруднителен.

Это увеличивает неопределенность в задании некоторых параметров уравнения переноса радиации и способствует росту ошибок выходных данных термического зондирования. Регистрируемое аппаратурой ИСЗ излучение относится к столбу атмосферы, в котором возможны пространственные вариации метеорологических параметров, вследствие чего получаемая информация является характеристикой некоторых осредненных величин состояния атмосферы.

Наиболее серьезное ограничение возможностей термического зондирования атмосферы из космоса связано с облачностью и ее влиянием на трансформацию инфракрасного излучения в атмосфере. В полосах поглощения диоксида углерода (15 и 4,3 мкм) облачные образования действуют на излучение как абсолютно черное тело, исключая информацию о температуре подоблачного слоя. Восстановление вертикальных профилей содержания водяного пара в атмосфере. Для определения вертикального распределения массовой доли водяного пара в широком диапазоне высот с удовлетворительной точностью необходимы измерения одновременно в инфракрасной (6,3 и 20–50 мкм) и микроволновой (1,35 см) областях спектра излучения. Измерения в микроволновом диапазоне дают информацию о влагосодержании нижних слоев атмосферы даже при наличии облачности. Инфракрасное излучение позволяет оценить содержание влаги в слое от 700 до 100 гПа.

При этом инфракрасное излучение может быть использовано для измерения как температуры поверхности (с использованием «оконных» длин волн, для которых атмосфера прозрачна), так и температуры атмосферы (с использованием длин волн, для которых атмосфера не прозрачна, или для измерения температуры верхних слоев облаков в инфракрасных окнах).

Спутники, используемые для измерения температуры поверхности с помощью теплового инфракрасного излучения, как правило, требуют безоблачных условий. Некоторые из этих приборов включают в себя усовершенствованный радиометр очень высокого разрешения (AVHRR), радиометры для сканирования вдоль трассы (AASTR), комплект радиометров видимого инфракрасного диапазона (VIIRS), атмосферный инфракрасный зонд

(AIRS) и спектрометр ACE с преобразованием Фурье (ACE-FTS) на канадском спутнике SCISAT-1.

На суше получить температуру по излучению сложнее из-за неоднородностей поверхности. Были проведены исследования эффекта городского теплового острова с помощью спутниковых снимков. Используя фрактальную технику, Вэн, К. и др. охарактеризовали пространственную структуру городского теплового острова. Использование передовых инфракрасных спутниковых снимков очень высокого разрешения может быть использовано, в отсутствие облачности, для обнаружения разрывов плотности (атмосферных фронтов), таких как холодные фронты на уровне земли. Используя метод Дворжака, инфракрасные спутниковые снимки могут быть использованы для определения разницы температур между глазом и температурой верхней части облаков центральной плотной облачности зрелых тропических циклонов, чтобы оценить их максимальные устойчивые ветры и минимальное центральное давление.

Радиометры на борту метеорологических спутников способны обнаруживать лесные пожары, которые проявляются ночью в виде пикселей с температурой выше 308 K (35 °C; 95 °F). Спектрорадиометр с изображением умеренного разрешения на борту спутника Terra может обнаруживать тепловые горячие точки, связанные с лесными пожарами, вулканами и промышленными горячими точками.

1.7.3. Спутниковый анализ других составляющих атмосферы

Измерения стратосферной температуры производятся с помощью приборов Stratospheric Sounding Unit (SSU), которые представляют собой трехканальные инфракрасные (ИК) радиометры. Поскольку он измеряет инфракрасное излучение углекислого газа, непрозрачность атмосферы выше, и, следовательно, температура измеряется на большей высоте (стратосфера), чем микроволновые измерения. Начиная с 1979 года, стратосферные зондирующие устройства (SSU) на действующих спутниках NOAA предоставляют данные о температуре, близкой к глобальной, над нижней стратосферой. SSU представляет собой спектрометр дальнего инфракрасного диапазона, использующий метод модуляции давления для проведения измерений в трех каналах в диапазоне поглощения углекислого газа 15 мкм. Три канала используют одну и ту же частоту, но разное давление в ячейке углекислого газа, соответствующие функции взвешивания достигают максимума на 29 км для канала 1, 37 км для канала 2 и 45 км для канала 3. Процесс определения трендов на основе измерений SSU оказался особенно сложным из-за дрейфа спутников, взаимной калибровки между различными спутниками с незначительным перекрытием и утечек газа в ячейках давления углекислого газа прибора. Кроме того, поскольку излучение, измеряемое SSU, обусловлено излучением углекислого газа, весовые функции смещаются на большие высоты по мере увеличения концентрации углекислого газа в стратосфере. Температуры в средних и верхних слоях стратосферы демонстрируют сильную

отрицательную тенденцию, перемежающуюся временным вулканическим потеплением после взрывных извержений вулканов Эль-Чичон и Пинатубо, с 1995 года наблюдается незначительная температурная тенденция. Наибольшее похолодание произошло в тропической стратосфере, что согласуется с усилением циркуляции Брюэра-Добсона при увеличении концентрации парниковых газов.

С 1979 по 2005 год устройства микроволнового зондирования (MSU), а с 1998 года и усовершенствованные микроволновые зонды на полярно-орбитальных метеорологических спутниках NOAA измеряли интенсивность микроволнового излучения от атмосферного кислорода. Интенсивность пропорциональна температуре широких вертикальных слоев атмосферы. Излучение апвеллинга измеряется на разных частотах; Эти различные частотные диапазоны отбирают образцы из разного взвешенного диапазона атмосферы.

Существующие методики эффективны для слоистообразной или многоярусной сплошной облачности, а также для облаков вертикального развития. По результатам обработки инфракрасной информации ИСЗ составляются карты высоты верхней границы облаков.

Вертикальное распределение температуры и влажности в атмосфере исследуют совместно на основе спектральных измерений уходящего излучения в области полос диоксида углерода (15 мкм) и водяного пара (6,3 мкм) в следующей последовательности:

По излучению в полосе диоксида углерода, концентрация которого в атмосфере в общем-то известна, восстанавливается термическая стратификация T(p) как функция давления на стандартных (изобарических) уровнях;

По восстановленному профилю температуры T(p) определяют вертикальное распределение массовой доли водяного пара q(p) по излучению в полосе водяного пара;

Уточняют профиль температуры T(p) с учетом перекрытия полос диоксида углерода и водяного пара в области 15 мкм. (рисунок 12).

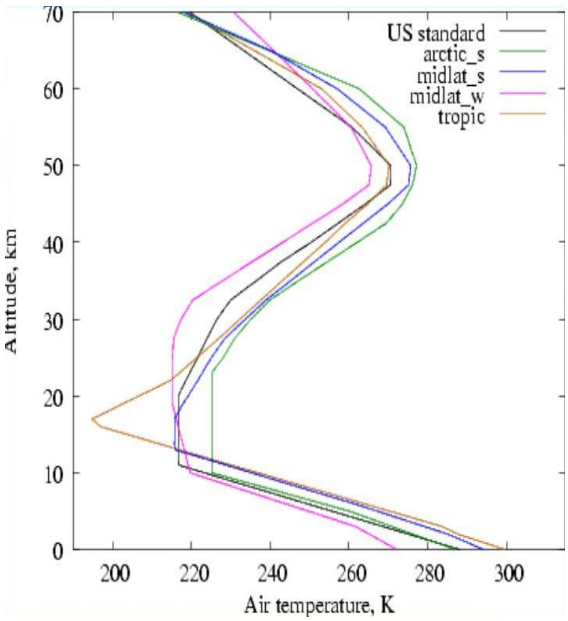


Рисунок 12 – Температурный профиль атмосферы Земли.

Термическое зондирование атмосферы. Определение термической стратификации T(p) по уравнению радиационного переноса осуществляется в предположении равномерности и постоянства распределения поглотителя (диоксида углерода) в атмосфере, независимо от высоты, местоположения района зондирования, времени года. Строгий количественный учет влияния на функцию пропускания, следовательно, и на регистрируемое излучение паров воды, озона и аэрозоля затруднителен.

Это увеличивает неопределенность в задании некоторых параметров уравнения переноса радиации и способствует росту ошибок выходных данных термического зондирования. Регистрируемое аппаратурой ИСЗ излучение относится к столбу атмосферы, в котором возможны пространственные вариации метеорологических параметров, вследствие чего получаемая информация является характеристикой некоторых осредненных величин состояния атмосферы.

Наиболее серьезное ограничение возможностей термического зондирования атмосферы из космоса связано с облачностью и ее влиянием на трансформацию инфракрасного излучения в атмосфере. В полосах поглощения диоксида углерода (15 и 4,3 мкм) облачные образования действуют на излучение как абсолютно черное тело, исключая информацию о температуре подоблачного слоя. Восстановление вертикальных профилей содержания водяного пара в атмосфере. Для определения вертикального распределения массовой доли водяного пара в широком диапазоне высот с удовлетворительной точностью необходимы измерения одновременно в инфракрасной (6,3 и 20–50 мкм) и микроволновой (1,35 см) областях спектра излучения. Измерения в микроволновом диапазоне дают информацию о влагосодержании нижних слоев атмосферы даже при наличии облачности.

Инфракрасное излучение позволяет оценить содержание влаги в слое от 700 до 100 гПа.

Оценка содержания озона и малых газовых компонентов атмосферы. Основным методом определения общего содержания и вертикальных профилей озона, оксидов углерода и азота, оксидов серы, метана, аммиака и др. является измерение прозрачности атмосферы на наклонных трассах.

Определенную информацию для решения подобных задач несут также измерения теплового уходящего излучения, точность которых зависит от достижимого в настоящее время спектрального разрешения.

Сведения о вертикальном распределении озона и его общем содержании в атмосфере чаще всего получают на основе интерпретации измерений уходящего излучения на длине волны 9,6 мкм, например, с помощью интерферометра, обеспечивающего спектральное разрешение 2,4 см.

Для надирных условий измерения этот метод имеет малую информативность с точки зрения теплового уходящего излучения. Поэтому используются и другие методы, основанные на измерении прозрачности атмосферы на наклонных трассах или отраженного и рассеянного излучения в ультрафиолетовой области спектра. В них учитываются влияние облачности и поглощения водяного пара на уходящее излучение, коррекция параметров функций пропускания на основе сопоставления измеренных интенсивностей и рассчитанных (по данным прямых измерений профилей температуры, влажности, озона).

Предельные точности восстановления составляют для метана, закиси азота, озона и азотной кислоты примерно 4–7 % в области высот 20–50 км и около 15–20 % — в области высот 12–20 км. Средние ошибки восстановления составляют 25–30 % для высот 12–36 км и примерно 50 % — в области высот 40–50 км.

1.8. Временная и географическая привязка спутниковых изображений

1.8.1. Временная привязка спутникового изображения

Точные координаты могут быть вычислены для места на поверхности Земли по измерениям расстояний от группы спутников (если их положение в космосе известно). В этом случае спутники являются пунктами с известными координатами (рисунок 13 а). Предположим, что расстояние от одного спутника известно, и мы можем описать сферу заданного радиуса вокруг него. Если мы знаем также расстояние и до второго спутника, то определяемое местоположение будет расположено где-то в круге, задаваемом пересечением двух сфер (рисунок 13 б).

а) Положение спутника на орбите

б) Второе измерение

Рисунок 13 – Положение спутника на орбите и второе измерение.

Теперь остаётся только выбрать правильную точку. Однако одна из точек всегда может быть отброшена, так как она имеет высокую скорость перемещения или находится на или под поверхностью Земли. Таким образом, зная расстояние до трёх спутников, можно вычислить координаты определяемой точки. Расстояние до спутников определяется по измерениям времени прохождения радиосигнала от космического аппарата до приёмника умноженным на скорость света. Приёмник проверяет входящий сигнал со спутника и определяет когда он генерировал такой же код. Полученная разница, умноженная на скорость света (~ 300000 км/с) даёт искомое расстояние.

Вычисления напрямую зависят от точности хода часов. Код должен генерироваться на спутнике и приёмнике в одно и то же время. На спутниках установлены атомные часы имеющие точность около одной наносекунды. Однако это слишком дорого, чтобы устанавливать такие часы в каждый GPS

приёмник, поэтому измерения от четвёртого спутника используются для устранения ошибок хода часов приёмника.

Эти измерения можно использовать для устранения ошибок, которые возникают если часы на спутнике и в приёмнике не синхронизированы. Для наглядности, иллюстрации приведённые ниже рассматривают ситуацию на плоскости, так как три спутника необходимо для вычисления местоположения объекта (рисунок 14).

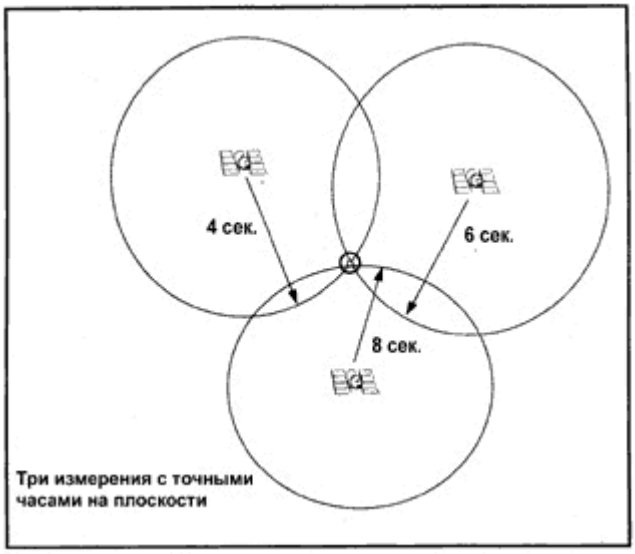


Рисунок 14 – Поиск местоположения, если часы имеют одинаковую точность кода.

Если часы на спутнике и в приёмнике имеют одинаковую точность хода, то точное местоположение может быть найдено по измерениям расстояния до двух спутников. Если получены измерения с трёх спутников и все часы точные, то круг, описанный радиус-вектором от третьего спутника будет пересекаться как показано на рисунке. Однако, если часы в приёмнике спешат на 1 секунду, то картина будет выглядеть следующим образом. Если сделать замер до третьего спутника, то полученный радиус-вектор не пересечётся с двумя другими (рисунок 15)

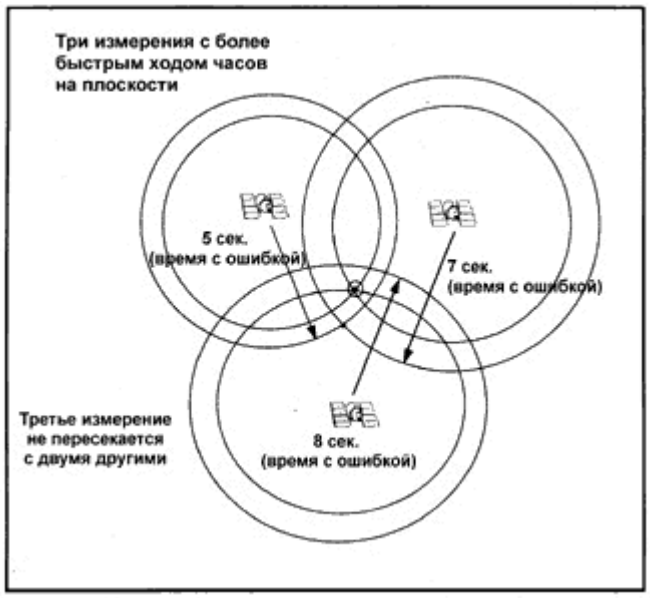


Рисунок 15 – Серия измерений, не пересекающихся в одной точке.

1.8.2. Географическая привязка

Картографическая проекция – математически определённый способ отображения поверхности Земли (либо другого небесного тела, или в общем смысле, любой искривлённой поверхности) на плоскость. Цилиндрические картографические проекции являются одним из способов изображения Земли. В этом виде проекции параллели нормальной сетки параллельные прямые, а меридианы перпендикулярные параллелям прямые; расстояния между ними пропорциональны разностям долгот. Единственный фактор, который отличает разные цилиндрические проекции друг от друга, — это масштаб, используемый при разнесении параллельных линий на карте. Недостатки цилиндрических проекций в том, что они сильно искажены на полюсах.

Типы цилиндрических картографических проекций, которые вы можете знать, включают в себя популярные проекции Меркатора, Кассини, Гаусса-Крюгера, Миллера, Бермана, Хобо-Дайера и Галла-Петерса.

Канонические проекции включают эквидистантную коническую проекцию, конформную коническую проекцию Ламберта и конику Альберса. Эти карты имеют конусную константу, которая определяет угловое расстояние между меридианами. Эти меридианы являются равноотстоящими и прямыми линиями, которые сходятся в местах вдоль проекции независимо от того, есть ли полюс или нет. Как и цилиндрическая проекция, проекции конической карты имеют параллели, которые пересекают меридианы под прямым углом с постоянной мерой искажения повсюду.

Проекции конической карты разработаны так, чтобы их можно было обернуть вокруг конуса на вершине сферы (шара), но они не должны быть геометрически точными.

Конические проекции лучше всего подходят для использования в качестве региональных карт или карт полушария, редко для полной карты мира. Искажение на конической карте делает его неподходящим для использования в

качестве визуального изображения всей Земли, но делает его отличным для визуализации умеренных регионов, карт погоды, климатических проекций и многого другого.

В азимутальной проекции параллели нормальной сетки являются концентрическими кругами, а меридианы — их радиусами, расходящимися из общего центра параллелей под углами, равными разности долгот. Каждая точка на карте имеет тот же самый азимут по отношению к среднему меридиану, который эта же точка имеет со средним меридианом на сфере.

Для различных целей создаются различные по характеру искажений проекции. Характер искажений проекции определяется отсутствием в ней определенных искажений (углов, длин, площадей). В зависимости от этого все картографические проекции по характеру искажений подразделяются на четыре группы:

— равноугольные (конформные);

— равнопромежуточные (эквидистантные);

—равновеликие (эквивалентные);

— произвольные

Дешифрирование спутниковых снимков - распознавание изучаемых природных комплексов и экологических процессов или их индикаторов по рисунку фотоизображения (тону, цвету, структуре), его размерам и сочетанию с другими объектами (текстура фотоизображения). Эти внешние характеристики присущи только тем физиономическим компонентам ландшафтов, которые имеют непосредственное отражение на снимке.

В связи с этим только незначительное число природных компонентов может быть отдешифрировано по прямым признакам - формы рельефа, растительный покров, иногда поверхностные отложения.

Дешифрирование включает обнаружение, распознавание, интерпретацию, а также определение качественных и количественных характеристик объектов и отображение результатов в графической (картографической), цифровой или текстовой формах

Географическая привязка - процесс приписывания пикселям изображения географических координат. Географическая привязка отражается только в информации о географических координатах в файле изображения. Сетка изображения при этом не меняется.

Привязка изображения заключается в точной идентификации отображенного участка земной поверхности и присвоении каждой точке изображения реальных координат.

Обычно на изображении отыскиваются точки, связанные с какими-либо объектами, координаты которых известны. Чем больше используется таких точек, тем точнее будут привязка и трансформирование изображениями данной точки на местности. Привязка «полных» (полученных в течение сеанса приёма) спутниковых изображений базируется на процедуре автоматического расчёта реперных точек и коррекции орбитальных параметров и/или углов ориентации платформы с радиометром.

Точные координаты места на поверхности Земли вычисляются по измерениям расстояний от группы спутников до точки положения. Спутники являются точками с известными координатами и во круг каждого спутника можно описать условную сферу заданного радиуса. При наличии второго спутника можно сделать второе измерение. Определяемое местоположение будет расположено где-то в круге, задаваемом пересечением двух сфер. Круг образуется в результате наличия разных ошибок в измерениях. Третье измерение (третий спутник) дает местоположение в одной из двух возможных точек. Остается вычислить правильную точку. Таким образом, зная расстояние до трёх спутников, можно вычислить координаты определяемой точки. Пересечении трех сфер дает две точки.

Все вычисления напрямую зависят от точности хода часов. Код должен генерироваться на спутнике и приёмнике в одно и то же время. Если часы на спутнике и в приёмнике имеют одинаковую точность хода, то местоположение может быть найдено по измерениям расстояния до двух спутников. Если получены измерения с трёх спутников и все часы точные, то круги, описанные радиус-векторами от трех спутников, будут пересекаться в одной точке.

В случае если расхождения в местоположении характерных точек превышают 10 км, необходимо на спутниковый снимок наложить соответствующую координатную сетку и путем ее смещения на расстояние, равное разнице в положении соответствующих географических объектов, найти истинное положение параллелей и меридианов на снимке. После этого координатная сетка надежно фиксируется в этом положении. Далее приступаем к составлению ледовой карты или карты штормового волнения, для чего на бланк карты переносим границы и кромки ледовых образований или облачных массивов.

Наиболее точная привязка получается, если на снимке имеется 4 – 6 географических ориентиров, равномерно расположенных на снимке вблизи его осевой линии.

1.9. Количественная обработка спутниковой гидрометеорологической информации с помощью вычислительной техники

1.9.1 Предварительная обработка спутниковой информации

Предварительная обработка осуществляется с использованием стандартного программного обеспечения фирмы-изготовителя спутниковых приемников и выполняется на полевой базе партии или бригады. Основными критериями контроля при этом являются разрешение неоднозначности по всем линиям сети, оценка точности по внутренней сходимости результатов обработки, сходимость результатов по замкнутым построениям в сети и, наконец, сходимость с ранее выполненными измерениями и контрольными расстояниями между известными пунктами. Большинство современных программ камеральной обработки спутниковых измерений (пост-обработки) разделяются по методу обработки:

- вычисления отдельных линий;
- многоточечные решения.

Метод вычисления отдельных линий является в настоящее время наиболее распространенным и его в любом случае целесообразно использовать при выполнении предварительной обработки даже если программный пакет позволяет реализовать многоточечные решения. Преимущества метода отдельных линий при выполнении предварительной обработки связаны с наличием на этой стадии обработки достаточно большого числа ошибок в данных и в случае многоточечного решения локализовать и устранить их достаточно сложно.

Программное обеспечение, рассчитанное на обработку отдельных линий, обеспечивает лучший контроль и локализацию некачественных линий и точек. Некачественные точки могут быть локализованы по оценке точности линий, сходящихся в этой точке. Как правило, точность таких линий существенно ниже средней на данном объекте. Другим методом контроля, позволяющим локализовать некачественные линии, является контроль по замкнутым построениям - треугольникам, векторным ходам. Если сумма приращений координат по замкнутому векторному ходу соответствует паспортной точности прибора, то линии, входящие в это построение, являются качественными. В последнее время практически все фирмы-изготовители спутниковых приемников поставляют программное обеспечение, реализующее оба метода обработки. Но эти программы имеют ограничения и ориентированы, как правило, на стандартные условия измерений и вычислений для максимальной автоматизации процесса обработки и снижения требований к квалификации исполнителя. Так, например, большинство таких программ при реализации метода отдельных линий накладывают ограничения на длину линии, а при реализации многоточечного решения, как правило, накладывают ограничения на число одновременно обрабатываемых точек и продолжительность периода измерений.

Для устранения этих ограничений используются процедуры совместного уравнивания отдельных линий, объединенных в общую сеть, или отдельных блоков многоточечного решения, объединенных на общем объекте. Важным этапом предварительной обработки является получение результатов в формате, пригодном для окончательной обработки. Несмотря на то, что данные практически любой программы могут быть представлены в текстовом формате ASCII, их организация существенно различается в зависимости и от фирмы-изготовителя и даже от конкретного типа приемника. Попытка стандартизации результатов измерений привела к созданию независимого формата обмена данными между различными типами приемников. Предварительные процедуры обработки снимка

В цикл предварительных процедур по обработке снимка входят следующие:

Радиометрическая коррекция – устраняет варьирование значений яркости

пикселей, которое происходит в результате неправильной работы детекторов, влияния рельефа и атмосферы.

Атмосферная коррекция – коррекция за влияние атмосферы, которая определяет расположение диапазонов съемки за счет окон прозрачности.

Геометрическая коррекция включает исправление таких искажений снимка, как полосчатость, выпадение строк, также геокодирование – привязывание снимка таким образом, что каждой точке изображения задается координата соответствующей точки на местности. Математически геопривязка обычно осуществляется с помощью степенных полиномов. Точность привязки увеличивается при наличии опорных точек, тогда снимок как бы «сажается» по ним. После геокодирования определяют яркостные характеристики уже трансформированного изображения различными методами: ближайшего соседа, билинейной интерполяции, бикубической свертки.

Ортотрансформирование – при нем устраняются ошибки изображения за счет перепадов высот рельефа местности, в результате в полученном изображении устранены многие огрехи центрального проектирования.

Спектральные преобразования, которые строятся на работе со спектральной диаграммой – графиком, показывающим зависимость между количеством пикселей изображения и значениями спектральной яркости. При спектральных преобразованиях изменяется такой параметр как контрастность. Для его повышения существует ряд методов, к примеру: линейное растягивание гистограммы, заключающееся в том, что всем значениям яркости присваиваются новые значения с целью охватить весь возможный диапазон от 0 до 255. 2. Фильтрация – усиливает воспроизведение объектов, устраняет шумы, подчеркивает структурные линии, сглаживает изображение и делает многое другое – в зависимости от поставленной задачи. Весь процесс фильтрации строится на понятии скользящего окна – квадратной матрицы весовых коэффициентов (обычно это матрица 3*3 или 5*5). Каждое значение яркости пикселя пересчитывается следующим образом: если пиксель стоит в центре окна, перемещающегося от пикселя к пикселю изображения, то ему присваивается новое значение, вычисленное по функциональной зависимости из значений окружающих его пикселей. Так окно «проскальзывает» по всем пикселям изображения, меняя их значение. В зависимости от подобранных весовых коэффициентов меняются свойства полученного изображения.

3.Преобразование Фурье улучшает качество изображения путем его разложения на множество пространственно-частотных компонент. Распределение яркостных характеристик в пространстве представляется в виде линейной комбинации периодических функций sin и cos с заданными характеристиками в частотной области. К примеру, чтобы удалить шумы, достаточно выявить периодичность их появления.

1.9.2 Численная интерпретация полученных данных

Цифровое изображение – это матрица пикселей, значение каждого из которой получается в результате усреднения по четырем составляющим: координатам пространства (x и y), длине волны и времени. Сам процесс составления матрицы идет таким образом: солнечное излучение отражается от объектов съемки, энергия, попадающая на поверхность датчика, фиксируется им, затем интегрируется, из чего задается интегральное значение пикселя. Целочисленное же значение получается после преобразования интегрального значения в электрический сигнал. Каждый пиксель хранит информацию в двоичном виде. Чем больше бит (памяти) выделяется на пиксель, тем больше число значений, соответствующих одному пикселю, тем точнее аппроксимируется исходный дискретный сигнал, тем больше информации снимок может хранить. На этом этапе, прежде всего, решается важнейший вопрос о правильности и полноте результатов моделирования и применимости их как в практической деятельности, так и в целях усовершенствования модели. Поэтому в первую очередь должна быть проведена проверка адекватности модели по тем свойствам, которые выбраны в качестве существенных (другими словами, должны быть произведены верификация и валидация модели). Интерпретация и применение результатов моделирования в эко-номике направлено на решение практических задач (анализ экономических объектов, экономическое прогнозирование развития хозяйственных и социальных процессов, выработка управленческих решений на всех уровнях хозяйственной иерархии). Отметим, что верификация модели – это проверка правильности структуры (логики) модели; валидация модели – проверка соответствия данных, получен-ных на основе модели, реальному процессу. Перечисленные этапы экономико-математического моде-лирования находятся в тесной взаимосвязи, в частности, мо-гут иметь место возвратные связи этапов. Так, на этапе по-строения модели может выясниться, что постановка задачи или противоречива, или приводит к слишком сложной ма-тематической модели; в этом случае исходная постановка задачи должна быть скорректирована. Наиболее часто необ-ходимость возврата к предшествующим этапам моделирова-ния возникает на этапе подготовки исходной информации. Если необходимая информация отсутствует или затраты на ее подготовку слишком велики, приходится возвращаться к этапам постановки задачи и ее формализации, чтобы приспособиться к доступной исследователю информации. Процесс моделирование имеет циклический характер. Недостатки, которые не удается исправить на тех или иных этапах моделирования, устраняются в последующих циклах. Однако результаты каждого цикла име-ют и вполне самостоятельное значение. Начав исследование с построения простой модели, можно получить полезные результаты, а затем перейти к созданию более сложной и более совершенной модели, включающей в себя новые условия и более точные математические зависимости. Следует иметь в виду, что далеко не во всех случаях данные, полученные в результате экономико-математического моделирования, могут использоваться

непосредственно как готовые управленческие решения. Они скорее могут быть рассмотрены как «консультирующие» средства. Принятие управленческих решений остается за человеком. Таким образом, экономико-математическое моделирование является лишь одним из компонентов (пусть очень важным) в человеко-машинных системах планирования и управления экономическими системами. Моделирование представляет собой циклический процесс, то есть за первым циклом из указанных этапов (всех или части) может последовать второй, третий и т. д. При этом знания об исследуемом экономическом объекте или процессе расширяются и уточняются, а первоначально построенная модель постепенно совершенствуется. Таким образом, в методологии моделирования заложены большие возможности самосовершенствования.

Сегодня, благодаря множеству картографических ГИС – приложений, спутниковые снимки можно легко получить в режиме онлайн и использовать для мониторинга состояния посевов, оценки выгоревших площадей, отслеживания ураганов, целей безопасности и других актуальных задач.

1.10. Спектрометрическая информация спутниковых наблюдений земли. Вертикальный профиль температуры по спутниковым данным

Спектром называется распределение какой-либо характеристики поля ионизирующих излучений по параметру, характеризующему это поле. Наиболее часто таким параметром является энергия. Спектрометрия ионизирующих излучений является разделом экспериментальной ядерной физики, занимающимся измерением и анализом энергетических спектров ионизирующих излучений. Радиометрические методы измерения активности применимы в том случае, если активность радиоактивного источника определяется только одним радионуклидом или нуклидами, генетически связанными между собой цепочками радиоактивного распада. Однако во многих случаях радиоактивные образцы содержат смесь радионуклидов различных видов. При этом требуется определить активность каждого нуклида или его относительное содержание. Все эти задачи, несмотря на их специфику и разнообразие, сводятся фактически к идентификации радионуклидов в объекте и определению их активности. Идентификация производится, как правило, путем определения энергии излучения из информативной части спектра, измеренного на спектрометре соответствующего типа.

Спутниковые снимки находят широкое практическое применение в различных индустриях. Метод, который лежит в основе спутниковых карт, позволяет распознавать типы земного покрова, обнаруживать изменения и оценивать состояние посевов — это технология дистанционного зондирования. Спутники используют дистанционные датчики для получения информации о различных характеристиках поверхности Земли, включая растительный покров, здания, водные поверхности, температуру воздуха, высоты и уклоны, и многие другие характеристики.

Дистанционные спутниковые сенсоры можно настроить на обнаружение света в длинах волн, невидимых невооруженному глазу. Каждый спектральный канал соответствует определенному диапазону длин волн, которые передают конкретную информацию об интересующей характеристике. Комбинация изображений в видимом диапазоне с различными спектральными каналами помогает нам визуализировать объекты, которые иначе невозможно обнаружить. Так, например, в среднем инфракрасном диапазоне на снимке отображается содержание влаги в растительности, лесном покрове и почве. С другой стороны, для оценки здоровья растения лучше использовать ближний инфракрасный диапазон, поскольку здоровая растительность имеет более яркое отражение именно в этом спектре.

Коэффициент отражения света, рассчитанный в нескольких спектральных диапазонах, можно визуализировать на графике в виде, так называемой, кривой спектрального отклика. Это позволяет увидеть, насколько интенсивным является отражение одного и того же элемента или объекта в разных спектральных диапазонах. Например, водные поверхности интенсивно отражают свет в видимом спектре и практически не отражают в ближнем инфракрасном. На графике динамика отражения будет выглядеть, как всплеск кривой в красном, зеленом и синем диапазонах спектра и, как резкий спад — на входе в ближний инфракрасный диапазон.

Инфракрасные и ультрафиолетовые диапазоны спектра могут использоваться, среди прочего, для измерения содержания хлорофилла в растениях и отслеживания лесных пожаров. Современные радиолокационные датчики могут создавать исчерпывающие трехмерные модели Земли независимо от облачности. Это позволяет более точно определять изменения в элементах поверхности.

Спектральные диапазоны можно комбинировать несколькими способами, в зависимости от объекта, который должен быть выделен на изображении. Поскольку человеческий глаз способен видеть только в видимом диапазоне, большинство изображений состоит из комбинаций красных, зеленых и синих каналов, имитирующих видимый спектр. Эта комбинация спектральных диапазонов известна как «истинный» или «естественный» цвет.

Когда на изображении необходимо выделить определенный элемент поверхности, используются спектральные каналы выше и ниже видимого диапазона. Необработанные данные подвергаются обработке для уменьшения шума на изображении. В результате получается так называемое «ложное» цветное изображение, на котором можно выделить здоровую растительность, облака, влажность почвы, точки возгорания и другие характеристики. Используя специально разработанные математические алгоритмы, можно измерить выделенные характеристики для получения количественных данных. Например, мы можем рассчитать количество влаги в почве, содержание хлорофилла в листьях и многое другое.

Чтобы повысить точность данных, полученных из комбинации нескольких спектральных диапазонов, снимок можно преобразовать с помощью коэффициентов и создать индекс.

Необходимо выполнять предварительную процедуру по обработке спутниковых данных. В цикл предварительных процедур по обработке снимка входят следующие:

Радиометрическая коррекция – устраняет варьирование значений яркости пикселей, которое происходит в результате неправильной работы детекторов, влияния рельефа и атмосферы.

Атмосферная коррекция – коррекция за влияние атмосферы, которая определяет расположение диапазонов съемки за счет окон прозрачности.

Геометрическая коррекция включает исправление таких искажений снимка, как полосчатость, выпадение строк, также геокодирование – привязывание снимка таким образом, что каждой точке изображения задается координата соответствующей точки на местности. Математически геопривязка обычно осуществляется с помощью степенных полиномов. Точность привязки увеличивается при наличии опорных точек, тогда снимок как бы «сажается» по ним. После геокодирования определяют яркостные характеристики уже трансформированного изображения различными методами: ближайшего соседа, билинейной интерполяции, бикубической свертки.

Ортотрансформирование – при нем устраняются ошибки изображения за счет перепадов высот рельефа местности, в результате в полученном изображении устранены многие огрехи центрального проектирования.

Далее следует процесс улучшения качества изображения, включающий:

Спектральные преобразования, которые строятся на работе со спектральной диаграммой – графиком, показывающим зависимость между количеством пикселей изображения и значениями спектральной яркости. При спектральных преобразованиях изменяется такой параметр как контрастность. Для его повышения существует ряд методов, к примеру:

линейное растягивание гистограммы, заключающееся в том, что всем значениям яркости присваиваются новые значения с целью охватить весь возможный диапазон от 0 до 255 (рис.16).

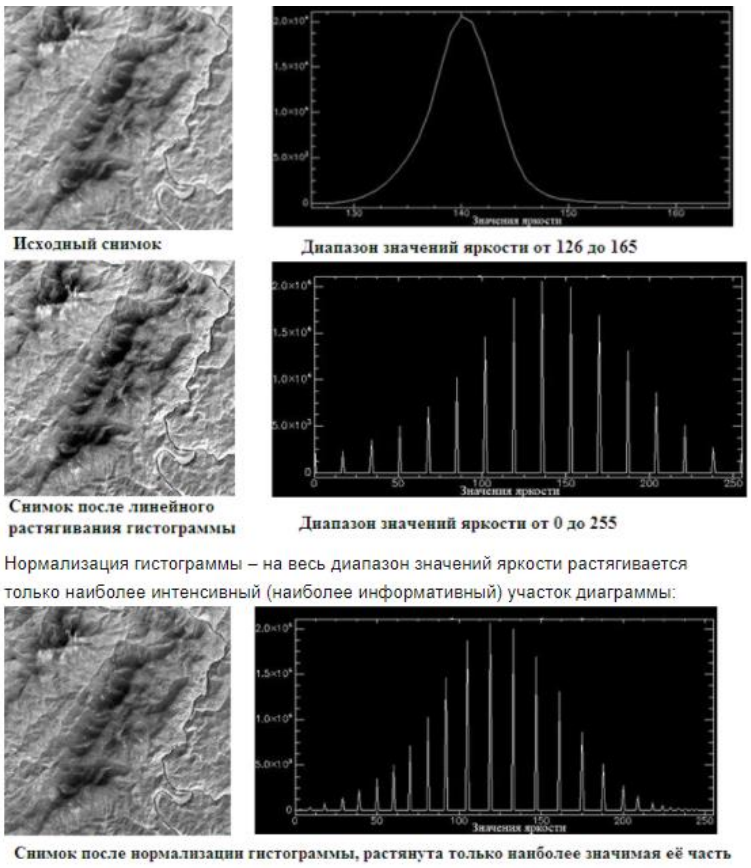


Рисунок 16 – Спектральные преобразования.

2. Фильтрация – усиливает воспроизведение объектов, устраняет шумы, подчеркивает структурные линии, сглаживает изображение и делает многое другое – в зависимости от поставленной задачи. Весь процесс фильтрации строится на понятии скользящего окна – квадратной матрицы весовых коэффициентов (обычно это матрица 3*3 или 5*5). Каждое значение яркости пикселя пересчитывается следующим образом: если пиксель стоит в центре окна, перемещающегося от пикселя к пикселю изображения, то ему присваивается новое значение, вычисленное по функциональной зависимости из значений окружающих его пикселей. Так окно «проскальзывает» по всем пикселям изображения, меняя их значение. В зависимости от подобранных весовых коэффициентов меняются свойства полученного изображения.

3.Преобразование Фурье улучшает качество изображения путем его разложения на множество пространственно-частотных компонент. Распределение яркостных характеристик в пространстве представляется в виде линейной комбинации периодических функций sin и cos с заданными характеристиками в частотной области. К примеру, чтобы удалить шумы, достаточно выявить периодичность их появления.

Для анализа применяют пассивные и активные методы. Пассивные методы используют естественные (природные) источники зондирующего излучения (солнце, звезды, собственное тепловое или люминесцентное излучение). Активные методы используют искусственные источники зондирующего излучения (радары, лазеры и др.).

Отражательная способность облаков, наблюдаемых сверху, тем больше, чем мощнее их слой. Она мала при их оптической толщине $\tau \sim 1$ и значительно больше у слоев с $\tau = 1-10$. Так, например, слой слоистых облаков толщиной в 300 м имеет А = 59−63 %.

Свежий снег имеет в видимых лучах высокое А − до 98 %. У старого зернистого и влажного снега и морского льда А невелико, до 43–45 %.

В ИК лучах при $\lambda = 1{,}55-1{,}65$ мкм снег почти черный ($A \sim 0$), что позволяет отличать при спутниковых наблюдениях заснеженные участки от облаков, имеющих значительное А на этих длинах волн.

По аналогии с индексами для растений вводится нормализованный дифференциальный снеговой индекс NDSI, который позволяет различать облака и снег/лед, оценивать степень загрязнения снегового покрова.

В видимом диапазоне яркость снега и облаков f1 приблизительно одинаковая, но при $\lambda \approx 1{,}6$ мкм яркость снега f3 близка к нулю, а яркость облаков почти такая же, как в видимом диапазоне.

1.11. Определение положения ИСЗ в космическом пространстве

1.11.1 Космическое пространство

Космическое пространство – относительно пустые участки Вселенной, которые лежат вне границ атмосфер небесных тел. Космос не является абсолютно пустым пространством: в нём есть, хотя и с очень низкой плотностью, межзвёздное вещество (преимущественно ионы и атомы водорода), космические лучи и электромагнитное излучение, а также гипотетическая тёмная материя. Чёткой границы не существует, атмосфера разрежается постепенно по мере удаления от земной поверхности, и до сих пор нет единого мнения, что считать фактором начала космоса. Если бы температура была постоянной, то давление бы изменялось по экспоненциальному закону от 100 кПа на уровне моря до нуля. Международная авиационная федерация в качестве рабочей границы между атмосферой и космосом установила высоту в 100 км (линия Кармана), потому что на этой высоте для создания подъёмной аэродинамической силы необходимо, чтобы летательный аппарат двигался с первой космической скоростью, из-за чего теряется смысл авиаполёта. Окружающая Солнце область космического пространства, на которую распространяется солнечный ветер, называется гелиосферой. В пределах гелиосферы находятся орбиты всех известных планет Солнечной системы. Свободное от крупных плотных тел пространство гелиосферы заполнено так называемой межпланетной средой, а за гелиопаузой начинается область межзвёздной среды.

Межпланетная среда сильно разрежена, но не является абсолютным вакуумом. Основную часть её вещества составляет плазма солнечного ветра (около 8 частиц на кубический сантиметр на уровне орбиты Земли), в небольших количествах присутствуют состоящие из нейтральных атомов и молекул газы. Её пронизывают космические лучи, магнитные поля и

электромагнитные излучения солнечного и иного происхождения. К межпланетной среде относится также космическая пыль размером от 10−9 до 10−6 м, но не более крупные тела Солнечной системы. В межпланетной среде путешествуют отправляемые с различными целями космические аппараты. По состоянию на 2023 год, только два аппарата серии «Вояджер» покинули гелиосферу в работоспособном состоянии и сообщили результаты непосредственных наблюдений межзвёздной среды.

Низкая плотность вещества межпланетной среды делает её гораздо более удобным местом для астрономических наблюдений, чем поверхность окружённой плотной атмосферой Земли, поэтому космические телескопы позволяют получать особо ценные для науки сведения.

100 км – официальная международная граница между атмосферой и космосом – линия Кармана, рубеж между аэронавтикой и космонавтикой. Летающий корпус и крылья начиная со 100 км не имеют смысла, так как скорость полёта для создания подъёмной силы становится выше первой космической скорости и атмосферный летательный аппарат превращается в космический спутник. Плотность среды 12 квадриллионов частиц на 1 дм³, яркость тёмно-буро-фиолетового неба 0,01-0,0001 кд/м² - приближается к яркости тёмно-синего ночного неба. Высота однородной атмосферы 45 см. 100—110 км — начало разрушения спутника: обгорание антенн и панелей солнечных батарей.

108 км – минимальная высота начала последнего витка спутника с наименьшим баллистическим коэффициентом, завершая оборот, спутник переходит в баллистический спуск.

110 км – минимальная высота аппарата, буксируемого более высоколетящим тяжёлым спутником.

110-120 км – минимально возможные высоты начала последнего витка реальных спутников.

118 км – переход от атмосферного ветра к потокам заряженных частиц.

120-150 км – переход от свободно-молекулярного течения к течению сплошной среды, в которой средняя длина свободного пробега частиц воздуха становится сравнимой с обычными размерами спутника от 1 до 25 м[71]. Набегающий поток воздуха начинает уплотняться перед спутником и оказывает большее тормозящее воздействие. Для микроспутников и небольших метеоритов эта граница располагается ниже.

121-122 – самый низкий начальный перигей секретных спутников, но апогей их был 260-400 км.

122 км (400 000 футов) – первые заметные проявления атмосферы при возвращении с орбиты: набегающий воздух стабилизирует крылатый аппарат типа Спейс Шаттл носом по ходу движения.

130 км – высота начала последнего оборота шарообразного спутника диаметром 2,3 м и массой 2400 кг (параметры СА Восток); по другим данным высота начала последнего витка для такого спутника около 150 км

135 км – максимальная высота появления болидов.

150 км – спутник с геометрически нарастающей быстротой теряет высоту, ему осталось существовать 1-2 оборота; спутник с площадью миделя 1 м² (диаметром ок. 1,14 м) массой 1000 кг за один оборот спустится на 20 км.

150-160 км – дневное небо становится чёрным: яркость неба приближается к минимальной различаемой глазом яркости 1·10-6 кд/м².

160 км (100 миль) – граница начала более-менее стабильных низких околоземных орбит.

188 км – высота первого беспилотного космического полёта (ракета Фау-2, 1944 г.).

200 км – наиболее низкая возможная орбита с краткосрочной стабильностью (до нескольких дней).

302 км – максимальная высота (апогей) первого пилотируемого космического полёта (Ю. А. Гагарин на космическом корабле Восток-1, 12 апреля 1961 г.).

320 км – доказанная протяжённость атмосферы по состоянию на 1927 год (благодаря открытию слоя Эплтона).

350 км – наиболее низкая возможная орбита с долгосрочной стабильностью (до нескольких лет).

ок. 400 км – высота орбиты Международной космической станции. Наибольшая высота ядерных испытаний (Starfish Prime, 1962 г.). Взрыв создал временный искусственный радиационный пояс, который мог бы умертвить космонавтов на околоземных орбитах, но в это время не проводилось пилотируемых полётов.

500 км – начало внутреннего протонного радиационного пояса и окончание безопасных орбит для длительных полётов человека. Не различаемая глазом яркость неба всё ещё имеет место.

690 км – средняя высота границы между термосферой и экзосферой (Термопауза, экзобаза). Выше экзобазы длина свободного пробега молекул воздуха больше высоты однородной атмосферы и если они летят вверх со скоростью более второй космической, то с вероятностью свыше 50 % покинут атмосферу.

947 км – высота апогея первого искусственного спутника Земли (Спутник-1, 1957 г.).

1000-1100 км – максимальная высота полярных сияний, последнее видимое с поверхности Земли проявление атмосферы; но обычно хорошо заметные сияния яркостью до 1 кд/м² происходят на высотах 90-400 км. Плотность среды 400-500 миллионов частиц на 1 дм³.

1300 км – зарегистрированная граница атмосферы к 1950 году.

1320 км – максимальная высота траектории баллистической ракеты при полёте на расстояние 10 тыс. км.

1372 км – максимальная высота, достигнутая человеком до первых полётов к Луне; космонавты впервые увидели не просто закруглённый горизонт, а шарообразность Земли (корабль Джемини-11 2 сентября 1966 г.).

2000 км – условная граница между низкими и средними околоземными орбитами. Атмосфера не оказывает воздействия на спутники, и они могут существовать на орбите многие тысячелетия.

3000 км – максимальная интенсивность потока протонов внутреннего радиационного пояса (до 0,5-1 Гр/час – смертельная доза в течение нескольких часов полёта).

12 756,49 км – расстояние, равное экваториальному диаметру планеты Земля.

17 000 км – максимум интенсивности внешнего электронного радиационного пояса до 0,4 Гр в сутки.

27 743 км – расстояние пролёта заранее (свыше 1 дня) обнаруженного астероида 2012 DA14.

35 786 км – граница между средними и высокими околоземными орбитами.

Высота геостационарной орбиты, спутник на такой орбите будет всегда висеть над одной точкой экватора. Плотность частиц на этой высоте ~20—30 тыс. атомов водорода на дм³.

ок. 80 000 км — теоретический предел атмосферы в первой половине XX века. Если бы вся атмосфера равномерно вращалась вместе с Землёй, то с этой высоты на экваторе центробежная сила превосходила бы притяжение, и молекулы воздуха, вышедшие за эту границу, разлетались бы в разные стороны. Граница оказалась близка к реальной и явление рассеяния атмосферы имеет место, но происходит оно из-за теплового и корпускулярного воздействия Солнца во всём объёме экзосферы.

ок. 90 000 км — расстояние до головной ударной волны, образованной столкновением магнитосферы Земли с солнечным ветром.

ок. 100 000 км — верхняя граница экзосферы (геокорона) Земли со стороны Солнца во время повышенной солнечной активности она уплотняется до 5 диаметров Земли (~60 тыс. км). Однако с теневой стороны последние следы «хвоста» экзосферы, сдуваемого солнечным ветром, могут прослеживаться до расстояний 50—100 диаметров Земли (600—1200 тыс. км). Каждый месяц в течение четырёх дней этот хвост пересекает Луна.

1.11.2. Возмущенное движение космического аппарата

Описание и изучение орбит КА на основе решения ограниченной задачи двух тел является лишь первым этапом при определении реальных движений тел любой природы. В реальном полете на КА, помимо силы тяготения Земли (при движении в сфере действия Земли) действует ряд других сил, которые нужно учитывать как возмущающие факторы. К этим возмущающим факторам относятся: гравитационные силы, связанные с нецентральностью гравитационного поля Земли; силы притяжения Луны, Солнца, других планет Солнечной системы; аэродинамические силы; давление солнечного света; силы от действия электромагнитного поля Земли и другие факторы.

Все отмеченные факторы приводят к отклонению траектории КА от кеплеровской (идеальной) орбиты. Правда, эти отклонения невелики ввиду относительной малости возмущающих сил. Движение КА с учетом возмущающих факторов будем называть возмущенным. Если рассматривать небольшие участки траектории КА, то возмущения орбиты, как правило, малы и их можно не учитывать. Однако ряд возмущений имеют тенденцию накапливаться во время полета, что постепенно приводит к значительному отклонению элементов орбиты от их первоначальных значений. Такие возмущения орбиты принято называть вековыми возмущениями орбиты. Вековые возмущения свойственны эллиптическим орбитам, так как полет по ним может продолжаться в течение длительного времени. Гиперболические орбиты возмущаются незначительно, если не считать участков полета, находящихся на больших удалениях от Земли, когда начинает сказываться притяжение со стороны Солнца.

При решении ограниченной задачи двух тел Земля представляется шаром со сферическим распределением плотности. В действительности Земля представляет собой неоднородное тело вращения, имеющее сложную конфигурацию поверхности.

Потенциальная функция поля тяготения такого тела приближенно описывается формулой, рекомендованной Международным астрономическим союзом для практического использования, т.е. стандартной формой записи потенциала сил притяжения Земли. В методах специальных возмущений числовые наборы данных, представляющие значения положений, скоростей и ускоряющих сил на интересующих телах, лежат в основе численного интегрирования дифференциальных уравнений движения. По сути, положения и скорости возмущаются напрямую, и не предпринимается попыток вычислить кривые орбит или элементы орбиты.

Специальные возмущения могут быть применены к любой задаче в небесной механике, поскольку это не ограничивается случаями, когда возмущающие силы малы. Когда-то применявшиеся только к кометам и малым планетам, специальные методы возмущения теперь являются основой наиболее точных, сгенерированных машиной планетарных эфемерид великих астрономических альманахов. Специальные возмущения также используются для моделирования орбиты с помощью компьютеров.

В Солнечной системе многие возмущения одной планеты другой носят периодический характер, состоящие из небольших импульсов каждый раз, когда планета проходит мимо другой по своей орбите. Это заставляет тела следовать периодическим или квазипериодическим движениям - таким, как у Луны на ее сильно возмущенной орбите, которая является предметом лунной теории. Этот периодический характер привел к открытию Нептуна в 1846 году в результате его возмущения орбиты Урана.

Продолжающиеся взаимные возмущения планет вызывают долгосрочные квазипериодические изменения их элементов орбит, наиболее заметные, когда периоды обращения двух планет почти синхронизированы. Например, пять

оборотов Юпитера (59,31 года) почти равны двум оборотам Сатурна (58,91 года). Это вызывает большие возмущения обоих элементов с периодом в 918 лет - время, необходимое для того, чтобы небольшая разница в их положениях при соединении совершила один полный круг, впервые открытый Лапласом. Венера в настоящее время имеет орбиту с наименьшим эксцентриситетом, то есть она наиболее близка к круговой из всех планетных орбит. Через 25 000 лет у Земли будет более круглая (менее эксцентричная) орбита, чем у Венеры. Было показано, что долгосрочные периодические возмущения в Солнечной системе могут становиться хаотичными в течение очень длительного времени; при некоторых обстоятельствах одна или несколько планет могут пересекать орбиту другой, что приводит к столкновениям. Орбиты многих малых тел Солнечной системы, таких как кометы, часто сильно возмущены, особенно гравитационными полями газовых гигантов. Хотя многие из этих возмущений являются периодическими, другие нет, и они, в частности, могут представлять аспекты хаотического движения. Например, в апреле 1996 года гравитационное воздействие Юпитера привело к тому, что период орбиты кометы Хейла–Боппа уменьшился с 4 206 до 2380 лет, и это изменение не изменится ни на какой периодической основе.

1.12. Координаты подспутниковой точки и трасса метеорологического спутника земли на поверхности планеты

1.12.1. Системы координат

Орбита – это траектория, по которой небесное тело / КА движется вокруг притягивающего центра (Земля, планета, Солнце) под действием гравитационных сил.

Орбитальные движения подчиняются законам небесной механики. При этом для КА, находящихся в околоземном пространстве, существует ряд особенностей:

1) влияние сопротивления атмосферы вблизи поверхности Земли (особенно для КА с перигеем орбиты 200–800 км);

2) несферичность поверхности Земли и особенности ее гравитационного поля;

3) влияние светового солнечного давления;

4) влияние магнитного поля Земли;

5) необходимость управлять движением и изменять/корректировать орбиту.

Важной задачей на предполетной стадии является выбор оптимальной орбиты КА в соответствии с поставленной научной программой полета.

На стадии полета решаются задачи, связанные с определением параметров орбиты по данным радиотехнических и оптических измерений, а также прогнозирование и управление траекториями полета КА.

Уравнения движения КА, записанные в одной системе координат, однозначно определяют его движение в любой другой системе координат. Поэтому важно уметь преобразовывать уравнения движения из одной системы координат в другую.

Существующие системы координат можно классифицировать:

1) по типу: прямоугольные, оскулирующие и криволинейные (цилиндрические, сферические, эллипсоидальные, параболоидальные);

2) по месту положения начала координат: гелиоцентрические (в центре масс Солнца); геоцентрические, географические (в центре масс Земли); моноцентрические (в пункте наблюдения на поверхности Земли); орбитальные, связанные (в центре масс КА); планетоцентрические (в центре масс планет); селеноцентрические (в центре масс Луны);

3) по выбору основной плоскости: экваториальные, эклиптические и др.;

4) по отношению к пространственным ориентирам: вращающиеся и не вращающиеся; инерциальные (рисунок 17).

Рисунок 17 – Классификация систем координат.

Наиболее важными для анализа орбитального полета КА являются:

1) гелиоцентрическая экваториальная прямоугольная СК;

2) геоцентрическая экваториальная прямоугольная СК;

3) географическая экваториальная прямоугольная СК;

4) оскулирующая СК.

Гелиоцентрическая экваториальная прямоугольная система координат. Начало этой СК находится в центре Солнца, ось X_c направлена в точку весеннего равноденствия Υ, ось Z_c – по нормали к плоскости земного экватора, ось Y_c дополняет систему координат до правой.

Геоцентрическая экваториальная (инерциальная) система координат. В качестве инерциальной системы координат при изучении движения КА

используют экваториальную геоцентрическую систему координат, начало *O* которой находится в центре масс Земного шара. Ось *Ox* направлена в точку весеннего равноденствия γ, ось *Oz* совпадает с осью вращения Земли и положительна в направлении – к Северному полюсу (к Полярной звезде), а ось *Oy* дополняет систему до триэдра правой ориентации (рис.12).

Ось вращения Земли совершает медленное движение по круговому конусу — *прецессию*, и одновременно — небольшие колебания, при которых изменяется угол между осью вращения и осью, вокруг которой происходит прецессия, — *нутацию*. Поэтому экваториальная система координат непрерывно медленно изменяется сложным образом вследствие прецессии и нутации (рисунок 18).

Для того чтобы экваториальная система стала инерциальной, ее необходимо зафиксировать относительно некоторого времени (эпохи) T_0. В космических исследованиях в качестве стандартной эпохи принимается эпоха $T_0 = 2000.0$.

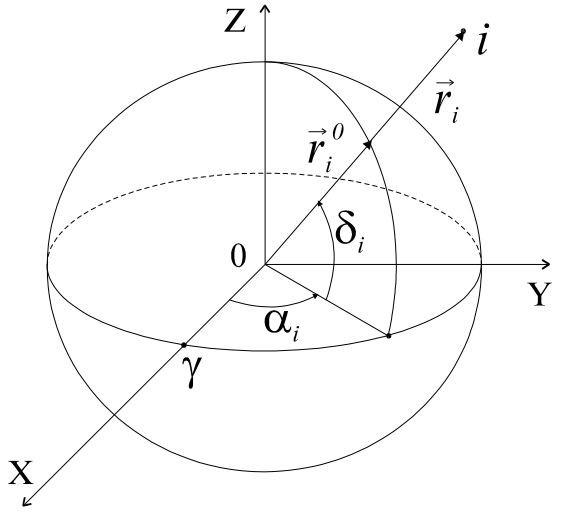


Рисунок 18 – Геоцентрическая экваториальная (инерциальная) система координат.

Поскольку нутационные эффекты по прядку величины не превосходят 10^{-4}, при учете нутации ограничиваются линейными членами при разложении элементов матрицы нутации в ряд Тэйлора.

Положение точки *i* пространства в инерциальной системе координат задается ее *геоцентрическим радиус-вектором* $\vec{r}_i$, прямым восхождением α_i и склонением δ_i.

Прямое восхождение α_i отсчитывается в плоскости экватора против часовой стрелки от точки весеннего равноденствия до проекции радиус-вектора и обычно задается в часовой мере. Склонение δ_i представляет собой угол между геоцентрическим радиус-вектором и плоскостью экватора.

Инерциальные геоцентрические координаты *x, y, z* задаются формулами:

$$x = r \cdot \cos\alpha \cdot \cos\delta;$$
$$y = r \cdot \sin\alpha \cdot \cos\delta;$$
$$z = r \cdot \sin\delta,$$

Инерциальная система координат устанавливается с помощью каталогов координат звезд.

Географическая (Гринвичская) система координат. Инерциальная система координат не всегда удобна, так как помимо трех координат точки необходимо указывать и момент времени, в который точка имеет заданные координаты. Поэтому чаще всего применяют геоцентрическую гринвичскую систему координат *OXYZ*, начало которой, так же как и инерциальной, совпадает с центром масс Земли, ось *OZ* направлена в средний Северный полюс Земли 1900–1905 гг., а ось *OX* лежит в плоскости экватора 1900–1905 гг. и направлена в точку пересечения экватора и меридиана Гринвича этой эпохи.

Переход от истинных инерциальных координат на эпоху наблюдения t_i к гринвичским координатам выполняют в два этапа.

На первом этапе система инерциальных истинных координат поворачивается вокруг оси *OZ* на угол, численно равный истинному звездному времени *S* в Гринвиче, после чего ось *OX* совпадет с мгновенным меридианом Гринвича:

$$\vec{\boldsymbol{R}}^0 = \overline{\boldsymbol{S}} \cdot \vec{\boldsymbol{r}}^0, \quad (2)$$

где $\overline{\boldsymbol{S}}$ – ортогональная матрица вращения, соответствующая повороту на угол *S*, численно равный звездному времени в Гринвиче, то есть

$$\overline{\boldsymbol{S}} = \begin{bmatrix} \cos S & \sin S & 0 \\ -\sin S & \cos S & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где *S* определяется по формулам

$$S^{(h)} = S_0{}^{(h)} + 1{,}0027378 \cdot t_i{}^{(h)},$$
$$S = S^{(0)} = 15{,}041068 \cdot S^{(h)},$$

где $S_0^{(h)}$ – истинное звездное время, значения которого публикуются в Астрономическом ежегоднике в разделе «Звездное время», ч (в часах);

$t_i^{(h)}$ – всемирное время в момент наблюдения, ч (в часах);

$S^{(0)}$ – звездное время в градусах.

На втором этапе перехода ось *OZ* должна быть направлена в средний полюс эпохи 1900–1905 гг. Для этого необходимо располагать истинными координатами полюса δx_p и δy_p на эпоху наблюдения t_i относительно среднего полюса 1900–1905 гг., которые публикуются в специальном издании Международной службы движения полюсов (МСДП).

Вводят $\overline{\boldsymbol{P}}$ — матрицу, описывающую движение полюса,

$$\overline{\boldsymbol{P}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \delta x_p \\ 0 & 1 & -\delta y_p \\ -\delta x_p & \delta y_p & 1 \end{bmatrix}.$$

Координаты полюса в матрице (1.**Ошибка! Источник ссылки не найден.** должны быть выражены в радианах. При вычислениях используют матрицу $\overline{\boldsymbol{P}} \cdot \overline{\boldsymbol{S}}$:

$$\overline{\boldsymbol{P}} \cdot \overline{\boldsymbol{S}} = \begin{bmatrix} \cos S & \sin S & \delta x_p \\ -\sin S & \cos S & -\delta y_p \\ -\delta x_p \cos S - \delta y_p \sin S & -\delta x_p \sin S + \delta y_p \cos S & 1 \end{bmatrix}.$$

Следовательно, переход от направления на звезду, заданного в средней инерциальной системе координат на эпоху каталога T_0, к гринвичской системе координат выполняют на основании соотношения

$$\vec{\boldsymbol{R}}^0 = \overline{\boldsymbol{P}} \cdot \overline{\boldsymbol{S}} \cdot \overline{\boldsymbol{\Pi}}_{nut} \cdot \overline{\boldsymbol{\Pi}}_{pr} \cdot \vec{\boldsymbol{r}}^{0'}.$$

Геодезические системы координат. В геодезии наиболее широкое применение получили геодезические системы координат, заданные относительно референц-эллипсоидов.

Геодезическую систему координат задают широтой B_0, долготой L_0 и высотой H_0 исходного пункта и параметрами референц-эллипсоида a_e и α_e.

Начало геодезической системы координат $O_Г$, как правило, не совпадает с центром масс Земли на некоторую величину $\delta\vec{\boldsymbol{R}}$, однако всякая геодезическая прямоугольная система практически параллельна гринвичской системе координат.

Геодезические координаты задают в виде прямоугольных координат $X_Г$, $Y_Г$, $Z_Г$ или в форме криволинейных координат B, L, H (геодезические широта, долгота и высота, отсчитываемая вдоль нормали N к поверхности эллипсоида). Ось $O_ГX_Г$ направлена в точку пересечения геодезического меридиана Гринвича с плоскостью экватора, а ось $O_ГZ_Г$ совпадает с осью вращения эллипсоида. Ось $O_ГY_Г$ дополняет систему до правой ориентации и положительна к востоку.

Связь прямоугольных и криволинейных геодезических координат:

$$X_Г = (N + H)\cos B \cdot \cos L;$$

$$Y_Г = (N + H)\cos B \cdot \sin L;$$

$$Z_Г = [N \cdot (1 - \in^2) + H] \cdot \sin B,$$

где N — нормаль к поверхности эллипсоида,

$$N = \frac{a_e}{\sqrt{1 - \in_{\oplus}^2 \sin^2 B}},$$

где $\in_{\oplus}$ — эксцентриситет земного эллипсоида.

Обратный переход от прямоугольных координат к криволинейным сложнее, поскольку требует последовательных приближений при вычислении широты.

Для таких вычислений используют следующий алгоритм расчета, который обеспечивает необходимую точность.

Сначала вычисляют вспомогательный угол φ:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Z_\Gamma}{\sqrt{X_\Gamma^2 + Y_\Gamma^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \in_{\oplus}^2}}.$$

Затем широту B определяют по формуле:

$$\operatorname{tg} B = \frac{Z_\Gamma + \in'_{\oplus} \in_{\oplus} a_e \sin^3 \varphi}{\sqrt{X_\Gamma^2 + Y_\Gamma^2} - \in_{\oplus}^2 a_e \cos^3 \varphi} = \frac{Z_\Gamma + p_{\oplus} \sin^3 \varphi}{\sqrt{X_\Gamma^2 + Y_\Gamma^2} - q_{\oplus} \cos \varphi},$$

где $\in'_{\oplus}$ — второй эксцентриситет земного эллипсоида,

$$\in'_{\oplus} = \sqrt{\frac{\in_{\oplus}^2}{1 - \in_{\oplus}^2}}.$$

Геодезическую долготу L определяют по формуле:

$$\operatorname{tg} L = Y_\Gamma / X_\Gamma,$$

а высоту H — на основании равенств:

$$H = \frac{X_\Gamma}{\cos B \cdot \cos L} - N = \frac{Y_\Gamma}{\cos B \cdot \sin L} - N = \frac{Z_\Gamma}{\sin B} - N \cdot \left(1 - \in_{\oplus}^2\right).$$

Оскулирующая система координат. Эта система координат полностью характеризует орбиту КА. Она в любой момент времени позволяет найти значения координат и составляющих вектора скорости центра масс аппарата.

Основные элементы этой системы показаны на (рисунок 19):

1) наклонение орбиты i $(0 \le i \le \pi)$ – угол между плоскостью орбиты и плоскостью земного экватора (отсчитывают от плоскости экватора против часовой стрелки, если смотреть вдоль линии узлов из восходящего узла по направлению к нисходящему);

долгота восходящего узла орбиты Ω $(0 \le \Omega \le 2\pi)$ – угол в плоскости экватора между направлениями на точку весеннего равноденствия и на восходящий узел орбиты (его отсчитывают в плоскости экватора от точки

весеннего равноденствия ϒ против часовой стрелки до направления в точку восходящего узла, если смотреть с северного конца земной оси);

2) аргумент перигея ω $(0 \le \omega \le 2\pi)$ – угол в плоскости орбиты между линией узлов и линией апсид (он измеряется от восходящего узла к перигею орбиты в направлении движения КА);

3) истинная аномалия ϑ – угол между направлениями от центра Земли в перигей и точку местонахождения КА;

4) большая полуось, a – расстояние, равное половине длины линии

5) апсид;

6) эксцентриситет e – параметр, определяющий форму орбиты;

7) время прохождения КА через перигей tП.

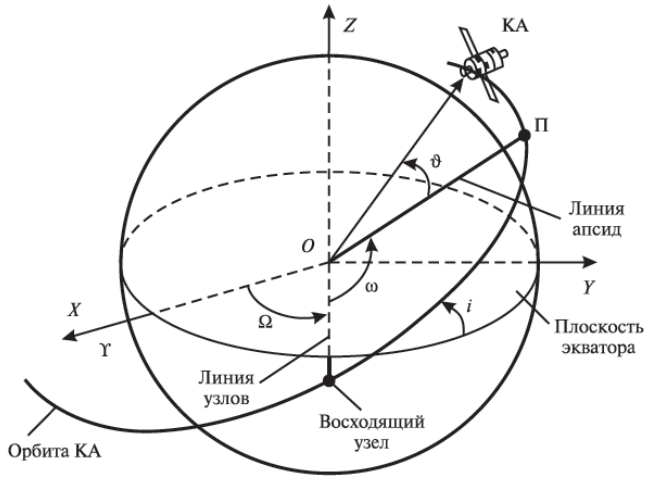


Рисунок 19 – Оскулирующая система координат.

Величины i и Ω характеризуют положение плоскости орбиты в пространстве, а величины a и e – размер и форму орбиты КА. Величина ω представляет угловое расстояние от восходящего узла Ω до перигея орбиты, т. е. характеризует положение эллипса в пространстве.

Зная все шесть элементов орбиты i, Ω, ω, a, e, tП, можно рассчитать координаты спутника для любого момента времени. Эта СК используется при описании истинного движения ИЗС через элементы его орбиты.

Классификация орбит КА

Основные параметры эллиптической орбиты. Поскольку невозмущенное движение КА описывается с помощью системы трех скалярных дифференциальных уравнений второго порядка или равносильной ей системы шести дифференциальных уравнений первого порядка, то для полного определения движения КА надо задать шесть произвольных постоянных.

Знание шести элементов орбиты: i, Ω, ω, a (или p), e, tП позволяет определить положение КА (вектор положения $\boldsymbol{r}$) и его скорость $\boldsymbol{V}$ (t) в любой момент времени.

Орбиты КА по положению относительно Земли принято называть:

- *прямыми* ($0 < I < \pi/2$) – движение в сторону вращения Земли;
- *обратными* ($\pi/2 < i < \pi$) – движение против вращения Земли;
- *полярными* ($i = \pi/2$) – движение через полюса Земли;
- *экваториальными* ($i = 0$, $i = \pi$) – движение в плоскости экватора.

По виду трассы орбиты КА различают [5]:

- *синхронные* – орбиты, у которых период обращения кратен звездным суткам (укладывается целое число раз на длительности одного полного оборота Земли вокруг своей оси, а трасса описывается замкнутой синусоидой);
- *солнечно-синхронные* – орбиты КА, нормаль к плоскости которых составляет с радиус-вектором Солнце–Земля постоянный угол (используются для обеспечения максимальной эффективности солнечных батарей).

Отдельный практический интерес представляют *стационарные* орбиты – круговые орбиты, лежащие в плоскости экватора планеты, у которых период обращения КА равен периоду обращения планеты (КА находится над одной и той же точкой поверхности планеты, а трасса вырождается в точку на экваторе). Частным случаем стационарных орбит является *геостационарная орбита* с высотой над поверхностью Земли приблизительно 35 800 км.

Существует международная классификация орбит по высоте [6]:

- LEO (Low Earth orbit) – низкая околоземная орбита примерно до 2000 км, самая низкая – ниже 700 км;
- MEO (Medium Earth orbit) – средняя околоземная орбита примерно до 5000 км;
- HEO (High eccentric orbit) – высокая эллиптическая орбита свыше 5000 км;
- GEO (Geostationary Earth orbit) – геостационарная орбита Земли.

Орбита спутника для дистанционного исследования Земли должна удовлетворять следующим условиям:

1) обеспечение одинаковой разрешающей способности и размеров участков исследуемых географических областей;
2) достижение возможно большего обзора земной поверхности;
3) незначительные слабые изменения солнечной освещенности по трассе;
4) получение изображения всей земной поверхности за минимально возможное время.

Для выполнения первого условия орбита должна быть круговой. В этом случае, если пренебречь отклонениями формы геоида от идеальной сферы, высоту КА над поверхностью Земли можно считать практически постоянной.

Второе условие можно выполнить на квазиполярной орбите, то есть орбите, плоскость которой составляет с плоскостью экватора угол, близкий к 90°.

Обеспечение минимальных различий в освещенности по трассе КА возможно только при солнечно-синхронной орбите аппарата. При такой орбите положение Солнца по отношению к плоскости орбиты мало меняется со временем, что обусловлено лишь сравнительно небольшими сезонными колебаниями и влиянием отклонения формы Земли от сферической. Важнейшей особенностью этой орбиты является то, что при прохождении КА над произвольной точкой Земли местное солнечное время всегда одно и то же и его конкретное значение зависит только от времени вывода КА на орбиту.

Плоскость солнечно-синхронных орбит прецессирует на восток с той же угловой скоростью, с какой Земля обращается вокруг Солнца, то есть в среднем 0,986° в сутки.

Период солнечно-синхронной орбиты рассчитывают по формуле

$$T_{\odot} = \frac{2\pi\delta_0}{N\left(\omega_{\oplus} - 2\pi/T_T\right)} = \frac{360 \cdot \delta_0}{N\left(\omega_{\oplus} - 360/T_T\right)},$$

где $\delta_0 = 1{,}0027379093$ – коэффициент перехода от средних звездных к средним солнечным суткам; N – целое число, называемое порядком орбиты, $7 \le N \le 16$; $T_T = 365{,}2422$ суток $= 31556925{,}9747$ с – длительность тропического года.

Наклонение солнечно-синхронной орбиты

$$J = \arccos\left(-\frac{T_{\odot}^{7/3}\mu_{\oplus}^{5/3}}{16\pi^{4/3} \cdot T_T \in_{\oplus}}\right) = \arccos\left(-\frac{T_{\odot}^{7/3}}{4{,}463325 \cdot 10^6}\right)$$

Для современных космических съемок большое значение имеет возможность прохождения КА по одним и тем же трассам через определенный промежуток времени. Этой возможностью обладают кратные *геосинхронные* орбиты, называемые иногда изомаршрутными. Кратность орбит определяется числом солнечных суток, через которые КА проходит по тому же маршруту (трассе).

Для обеспечения нужд связи, телевещания и других эксплуатационных преимуществ в настоящее время используют *геостационарных орбит* (ГСО) спутников Земли.

Орбита геостационарного ИСЗ имеет форму окружности, лежащей в плоскости земного экватора (наклонение $J = 0°$) с высотой над поверхностью Земли 35 786 км. Направление вращения ИСЗ совпадает с направлением суточного вращения Земли. Поэтому для земного наблюдателя спутник кажется неподвижным в определенной точке небесной полусферы.

Геостационарные орбиты являются перспективными и для дистанционных исследований Земли. С борта КА, находящегося на геостационарной орбите, Земля видна под углом 17,3°. Так как такой спутник практически неподвижен по отношению к земной поверхности, то для приема информации будут использоваться наземные станции с фиксированным положением антенн.

С помощью приборов, выведенных на такие орбиты, можно контролировать почти половину поверхности Земли. С помощью трех геостационарных спутников, смещенных по отношению друг к другу на 120° вдоль экватора, можно достичь глобального обзора земной поверхности и создать непрерывно действующую систему для исследования Земли.

1.12.2 Данные телеметрии

Формат TLE (two-line element sets): это две линии по 69 символов, описывающие основные метаданные спутника и параметры телеметрии (таблица 1). Содержание первой линии:

Таблица 1 – Пример набора данных телеметрии.

Номер	Положение	Содержание	Пример
1	01-01	Номер строки	1
2	03-07	Номер спутника в базе данных NORAD	25994
3	08-08	Классификация (U=Unclassified — не секретный)	U
4	10-11	Международное обозначение (последние две цифры года запуска)	99
5	12-14	Международное обозначение (номер запуска в этом году)	068
6	15-17	Международное обозначение (часть запуска)	A
7	19-20	Год эпохи (последние две цифры)	16
8	21-32	Время эпохи (целая часть — номер дня в году, дробная — часть дня)	052.07623983
9	34-43	Первая производная от среднего движения (ускорение), деленная на два [виток/день^2]	.00001336
10	45-52	Вторая производная от среднего движения, деленная на шесть (подразумевается, что число начинается с десятичного разделителя) [виток/день^3]	00000-0
11	54-61	Коэффициент торможения B* (подразумевается, что число начинается с десятичного разделителя)	30635-3
12	63-63	Изначально — типы эфемерид, сейчас — всегда число 0	0
13	65-68	Номер (версия) элемента	999
14	69-69	Контрольная сумма по модулю 10	6

Собранный пример:

1 25994U 99068A 16052.07623983 .00001336 00000-0 30635-3 0 9996

Содержание второй линии:

Номер	Положение	Содержание	Пример
1	01-01	Номер строки	1
2	03-07	Номер спутника в базе данных NORAD	25994
3	09-16	Наклонение в градусах	98.1986
4	18-25	Долгота восходящего узла в градусах	128.0087
5	27-33	Эксцентриситет (подразумевается, что число начинается с	000148

		десятичного разделителя)	5
6	35-42	Аргумент перицентра в градусах	109.3968
7	44-51	Средняя аномалия в градусах	250.7393
8	53-63	Частота обращения (оборотов в день) (среднее движение) [виток/день]	14.57136668
9	64-68	Номер витка на момент эпохи	86046
10	69-69	Контрольная сумма по модулю 10	2

Собранный пример:
2 25994 98.1986 128.0087 0001485 109.3968 250.7393 14.57136668860462

При использовании tle необходимо помнить, что полученные эфемериды описывают мгновенное состояние КА, и, хотя описывают его поведение с довольно высокой точностью, при увеличении дальности прогноза (относительно данной эпохи) будут давать всё большую и большую ошибку.

1.12.3. Координаты подспутниковоvй точки. Трасса спутника.

Подспутниковая точка – это точка, образованная пересечением нормали к земной поверхности, проходящей через данный спутник, с самой земной поверхностью. У всех спутников подспутниковая точка движется по поверхности Земли. Исключение составляют только геостационарные спутники, у которых эти точки неподвижны и находятся на экваторе (широта=0, долгота равна орбитальной позиции спутника). Линия на поверхности Земли, по которой перемещается подспутниковая точка называется подспутниковой трассой.

Координаты подспутниковой точки ИСЗ в
геодезической системе координат на
момент времени экстраполяции ti
рассчитываются по формулам:
Bm = ВПЗ
Lm = LПЗ (4)
Hm = hрельефа
где hрельефа — высота подспутниковой точки
(расстояние от подспутниковой точки, расположенной на поверхности Земли, до поверхности эллипсоида), которая определяется с использованием электронной карты местности.

Маршрут движения космического аппарата относительно Земли баллистики назвали звучным словом трасса.

Трассой полета спутника называется проекция его орбиты на поверхность Земли. Построение ее производится следующим образом. Для каждого заданного момента времени рассчитывается прогноз движения спутника, т. е. определяются его координаты. Затем точка, где находится спутник, соединяется прямой линией с центром Земли. Точка пересечения этой прямой с поверхностью Земли называется подспутниковой точкой.

Построив для ряда моментов времени подспутниковые точки и соединив их плавной кривой, получим трассу движения.

Траектория полета КА представляет собой некоторую непрерывную пространственно-временную функцию и может быть представлена в виде совокупности конечного числа независимых параметров (элементов траектории) **q**($q1$, $q2$, ...), с достаточной степенью точности, аппроксимирующих движение КА в заданном интервале времени. Вид и количество элементов зависит от характера полета КА на данном участке и от совокупности сил, действующих на КА.

Математическое описание траектории КА возможно методом ее а*ппроксимации,* как пространственной кривой, с помощью известных функций, а также путем *решения дифференциальных уравнений движения КА*.

Аппроксимация, несмотря на простоту и удовлетворительную точность, не дает представления о силах, действующих на КА в полете. В то же время, при составлении и *решении дифференциальных уравнений движения* КА совокупность действующих на него сил наглядно отображается и, по возможности, учитывается.

В зависимости от вида поставленной задачи при определении орбиты КА используют наиболее удобную в данном конкретном случае систему координат.

Дело в том, что при определенном выборе системы координат уравнения движения могут существенно упроститься, а траектория движения может описываться типовыми геометрическими фигурами (окружность, эллипс, парабола, гипербола).

Трасса полета КА – проекция орбиты на поверхность вращающейся Земли).

Алгоритм ее определения предполагается следующим:

1. Рассчитывается широта B и долгота L (географические) для ряда точек по формулам:

$$B = \arcsin\left[\sin J \cdot \sin\left(360° t/T\right)\right];$$

$$L = \Omega - S^{(0)} + \operatorname{arctg}\left[\cos J \cdot \operatorname{tg} J\left(360° t/T\right)\right] - \omega_{\oplus} t + \Delta\Omega \cdot \left(t/T\right),$$

где J – наклонение орбиты; Ω - начальное значение долготы восходящего узла; $S^{(0)}$ – звездное время в момент наблюдения спутника, выражены в градусах, то есть $S^{(0)}$ = 15,0411 $S^{(h)}$; $\omega_{\oplus}$ = 0,2506845 град·мин$^{-1}$ – угловая скорость вращения Земли; t – текущее время полета; T – период обращения спутника, мин.

2. $\Delta\Omega$ — прецессия узла орбиты за один оборот, вычисляется по формуле:

$$\Delta\Omega = -\frac{2\pi \in_{\oplus}}{\mu_{\oplus}} \cdot \frac{\cos J}{P^2} = -A\frac{\cos J}{P^2},$$

где A = 2,378·10^7 град·км^2; P – фокальный параметр орбиты, км; T – период обращения спутника.

3. Для расчета трассы задается шаг по времени от 0,1 до 10 минут и по приведенным формулам находятся координаты точек проекции. Полученные точки наносятся на карту и соединяются плавной линией, которая и является трассой полета.

Обычно рассчитывают трассу только одного витка, например, первого. Трассы последующих и предыдущих витков могут быть получены путем смещения на долготу начала *n*-го витка

$$L_n = L_1 - (n-1)\cdot\left(\omega_{\oplus}T + A\frac{\cos J}{a_e^2}\right),$$

где L_1 – долгота начала первого витка; n – номер витка; a_e – большая полуось орбиты.

Расстояние ΔL между зонами обзора с двух соседних витков определяется из выражения

$$\Delta L = \mathrm{v}_э \cdot T \cdot \cos B,$$

где $v_э$ — линейная скорость произвольной точки, лежащей на экваторе; B – широта места наблюдения.

Истинное звездное время S_0 в гринвичскую полночь даты наблюдений по данным АЕ.

Всемирное время *UT1*, соответствующее моменту съемки t_i.

Вычисляем истинное звездное время в Гринвиче S_i в момент t_i:

$$S_i = S_0 + 1{,}0027378 \cdot UT1^h = S_i^h$$

Переход из часовой меры в градусную меру:

Один полный оборот Земли за 1 звездные сутки соответствует 360°.

Средние звездные сутки — $23^h56^m04^s$ = $23{,}93445^h$ = 1436,067 мин.

Следовательно, 1 час = 1^h соответствует 15,041068°.

1 мин = 1^m соответствует 0,2506845°.

Поэтому, истинное звездное время в (°), будет:

$$S_i = 15{,}041068 \cdot S_i^h$$

Также, в зависимости от параметров орбиты, её трасса может повторяться за определённый промежуток времени.

Например, для спутника с периодом обращения, кратным звёздным суткам (то есть 23 часа 56 минут, 11 часов 58 минут, 5 ч. 59 мин и пр. – орбиты суточной кратности), наземная трасса приближённо повторяется каждые сутки (рисунок 20).

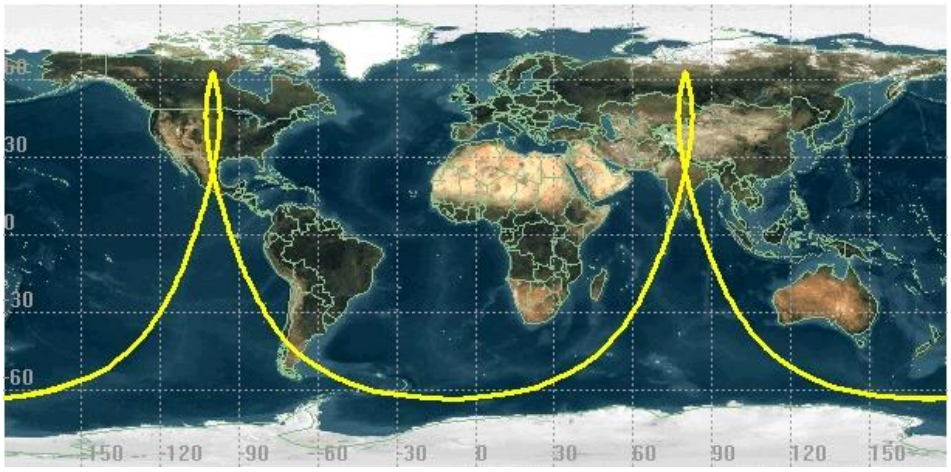


Рисунок 20 – Наземная трасса полусинхронной высокоэллиптической орбиты (Молния-орбита).

Проекцией спутника на земную поверхность называют точку, в которой радиальная прямая – линия, соединяющая спутник с центром Земли, пересекает поверхность земного шара. При движении спутника вокруг Земли проекция прочерчивает на земной поверхности линию, которая называется трассой спутника.

Форма трассы определяется наклонением орбиты и периодом обращения. Так как трасса вычерчивается спутником на вращающейся Земле, то угол пересечения трассой экватора всегда отличается от наклонения орбиты. Для спутников с низкими орбитами и прямым движением при наклонении меньше 90° трасса в невозмущенном движении напоминает синусоиду, многократно опоясывающую земной шар. На подобных трассах движение всегда направлено к северо-востоку или юго-востоку, а в крайних северных и южных точках на восток. При больших периодах обращения даже при движении спутника в сторону вращения Земли его проекция может отставать, и движение на части трассы будет происходить в западном направлении.

Трассы «восьмерки» лежат на одной стороне земного шара. Частным и очень важным в практическом отношении случаем суточного спутника является стационарный спутник, круговая орбита которого (с прямым обращением) лежит в плоскости экватора. Трасса такого спутника вырождается в точку на экваторе.

1.13. Спутниковая климатология и ее составляющие

В настоящее время со спутников возможно измерение большинства метеорологических величин и основных характеристик климатической системы. Иногда эти измерения затруднительны, точность их еще не высока, однако некоторые наблюдения со спутников проводятся уже более успешно, чем с помощью наземных средств.

С учетом возможностей существующих и развивающихся спутниковых систем и целесообразности организации тех или иных измерений для

получения более точной информации о климате Земли и состоянии климатической системы выделим следующие направления функционирования спутниковых систем.

1.Измерения метеорологических величин и получение других данных, важных для понимания колебаний и изменений климата, в местах, где имеются наземные наблюдательные средства.

2.Измерения тех же величин в труднодоступных для наземных измерений районах.

а) в континентальных областях,

б) в океанических областях.

3.Измерения величин и факторов, труднодоступных или не поддающихся прямым определениям с поверхности земли:

- интегральные характеристики подстилающей поверхности (альбедо, величины, характеризующие энерго- и массообмен подстилающей поверхности с атмосферой);

- некоторые компоненты радиационного баланса системы Земля-атмосфера (отраженное солнечное излучение и длинноволновое уходящее излучение земных объектов);

- корпускулярное и жесткое электромагнитное солнечное и космическое излучения.

Использование спутников для оперативной передачи данных из труднодоступных областей земного шара.

В настоящее время со спутников проводятся (или могут проводиться) такие важнейшие наблюдения, как наблюдения полей облачности и ветра; температуры и влажности воздуха на различных высотах; температуры поверхностного слоя воды океана; протяженности (границ) морского льда и снежного сезонного покрова суши; зон, покрытых растительностью (и характеристик их состояния) на суше и планктоном в океане; влажности почвы, зон и интенсивности осадков; основных компонент радиационного баланса. В указанных работах приводятся данные и по развитию спутниковых систем в будущем. Поля облачности идентифицируются уже более десяти лет. Пространственное распределение и структура определяются путем фотографирования в видимом и ИК диапазонах. Ведутся успешные работы по измерению фазового состояния облаков (путем сопоставления результатов измерений радиояркостной температуры облаков в полосе поглощения жидко-капельной воды в области 0,8 см и радиационной температуры в окне прозрачности 10-12 мкм), высоты и температуры верхней границы облаков (фотометрическим и радиометрическим методами). Температурные профили определяются из анализа данных инфракрасного или микроволнового излучения в полосах поглощения для газов с известной концентрацией (двуокись углерода, кислород). Точность восстановленных профилей достигает 2-3° до высот 30-35 км. Определение температуры поверхностного слоя воды океана производится с помощью измерений излучения в окнах прозрачности в ИК и СВЧ диапазонах спектра; точность измерений составляет ± 1- 1,5°С и

ограничивается (особенно в ИК диапазоне) поглощением облачностью, слоями пыли и другими атмосферными помехами. Необходимо подчеркнуть важность определения температуры поверхностного слоя океана; так, по этой величине можно приближенно определить теплосодержание деятельного слоя океана и использовать эту величину для количественных суждений о турбулентном обмене тепла и влаги между атмосферой и океаном. В связи с этим нужны точности в определении температуры поверхностного слоя океана до нескольких десятых долей градуса.

Разрабатываются методы вертикального зондирования температуры и плотности подповерхностного слоя океана вплоть до границы перемешивания. Точность определения температуры суши несколько хуже точности определения температуры поверхностного слоя океана (здесь используются одинаковые методы). Границы и протяженность ледяного и снежного покровов определяются в видимом диапазоне с хорошей точностью. Сочетание одновременных наблюдений в видимом и ИК диапазонах позволяет определить различные типы полярных льдов, а измерения в микроволновом диапазоне (в области длин волн около 1,5 см) -различить с большой точностью области покрытия льдом и чистой воды, льды различного возраста и толщины. Некоторые свойства поверхности (растительность, количество планктона) определяются с использованием многоспектральных изображений. Количество и распределение планктона в океане может быть получено по данным измерений хлорофилла по полосе поглощения отраженного солнечного излучения в области 0,43 мкм и интенсивности люминесценции фитопланктона. Определение влажности почвы и осадков возможно с помощью микроволновых радиометров.

Имеются широкие возможности измерений со спутников ряда характеристик элементов климатической системы и других параметров, подверженных антропогенным воздействиям.

Антропогенные воздействия могут существенно повлиять на мутность атмосферы, способствуют увеличению двуокиси углерода в атмосфере, появлению примесей, влияющих на озоносферу (галогеноуглеводороды, закись азота).

Литература:

1. Андерсон Р.К. Использование изображений со спутников в анализе и прогнозе погоды./ под ред. Р.К.Андерсона и Н.Ф.Вельтищева.// Техн. записка ВМО – Л.,Гидрометеоиздат, 1984 – 275 с.

2. Аргучинцев В.К. Динамика атмосферы – Иркутск: 2006. – 130 с.

3. Бакулин П.И. Курс общей астрономии/ И.П. Бакулин, Э.В. Кононович, В.И Мороз. – М.: Наука, 1977 – 545 с.

4. Вельтищев Н.Ф., Степаненко В.М. Мезометеорологические процессы – М.: 2006. – 104 с.

5. Гандин Л.С. Объективный анализ метеорологических полей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1963. – 288 с.

6. Герман М.А. Космические методы исследования в метеорологии – Л., Гидрометеоиздат, 1985 – 352 с.

7. Говердовский В.Ф. Космическая метеорология с основами астрономии : [Учеб. для вузов по направлению "Гидрометеорология", специальности "Метеорология"] / В. Ф. Говердовский; Рос. гос. гидрометеорол. ин-т. – СПб.: РГГМИ, 1995. – 216 с.

8. Использование спутниковой информации в синоптической практике /под ред.Н.П. Леонова.// Метод. Пособие- Моск. отд. Гидрометеоиздата,1982

9. Калинин Н.А., Толмачева Н.И. Практикум по космическим методам исследований в метеорологии. – Пермь, изд. Пермского университета, 2003 – 235 с.

10. Кондратьев К.Я. Спутниковая климатология – Л.,Гидрометеоиздат, 1986 – 263 с.

11. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли – М.: Мир, 1988 – 351с.

12. Крэкнелл А.П. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии – М.: Мир, 1984 – 547 с.

13. Лекции по численным методам краткосрочного прогноза погоды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969.– С. 637–700.

14. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – С.5-365.

15. Руководство по использованию спутниковых данных в анализе и прогнозе погоды / Под ред. И.П. Ветлова, Н.Ф. Вельтищева. - Л.: Гидрометеоиздат, 1987.

16. Симакина Т.Е. Получение и обработка спутниковых снимков. Учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2010. –127 с.

17. Analysis and Use of Meteorological Satellite Images. First Edition. Meteorological Satellite Center – Japan Meteorological Agency, 2002.

18. Барашкова Н.К. Атмосферные процессы: динамика, численный анализ, моделирование / Н.К. Барашкова, Л.И. Кижнер, И.В. Кужевская./ Учебное пособие. – Томский государственный университет. – Томск, 2010.

19. Венский институт геодинамики, концептуальные модели синоптических спутниковых систем, теория и описание отдельных случаев – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.zamg.ac.at – Режим доступа 13.04.2020

20. Д.Л. Лайхтман. Динамическая метеорология. – Л., Гидрометеоиздат, 1976 – 606 с.

21. Данные ИСЗ Терра и Аква – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ecmwf.int/products/forecasts/d/charts/monitoring/satellite/airs – Режим доступа 13.04.2020

22. Марчук Г.И. Облака и климат/ Г.И. Марчук и др. – Л.,Гидрометеоиздат, 1986 – 512 с.

23. Матвеев Л. Т. Физика атмосферы. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2000 – 752 с.

24. Научно-исследовательский Центр мониторинга Земли из Космоса– [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ntzomz.ru– Режим доступа 13.04.2020

25. Физическая метеорология: Учебник/ Б.А. Семенченко. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 415 с.

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1. Получение, сбор, архивация и распространение информации спутниковых наблюдений

Цель работы: научится получаться, архивировать и распространять информацию, получаемую с метеорологических искусственных спутников.

Исходный материал: справочная литература, персональная ЭВМ, интернет – ресурсы с архивными данными, спутниковые снимки.

Задание:

1. Охарактеризовать методы получения, сбора и обработки спутниковой информации (привести конкретные методы);
2. Изучить сайты получения спутниковой информации, привести примеры этих сайтов.
3. Используя данные одного из приведенных выше сайтов обработать спутниковую информации двумя (на выбор) методами для территории Беларуси;
4. Выполнит дешифрирование всех метеорологических объектов на спутниковом снимке.
5. Проанализировать обработанные данных для территории Беларуси.
6. Сравнение результатов с данными наземных наблюдений (данные наземных наблюдений доступны на сайтах погоды);

2.2. Анализ облачности с применением метеорологических искусственных спутников земли

Цель работы: проанализировать облачные системы по полученным спутниковым снимкам.

Исходный материал: справочная литература [1-7], персональная ЭВМ, спутниковые снимки облачных систем, интернет-источники.

Задание:

1. Используя данные сайтов космической погоды привести примеры снимков облачности по сезонам года (на 5 дней зимой, весной летом и осенью) для территории Беларуси,
2. Используя данные сайтов космической погоды привести примеры снимков облачности по сезонам года (на 5 дней зимой, весной летом и осенью) для территории России,
3. Выполнить совместный анализ приведенных снимков,
4. Используя полученные данные провести синоптический анализ,
5. Отметить все объекты и их структуры на снимках.

2.3. Определение положения искусственного спутника земли в космическом пространстве

Цель работы: научится определять положение искусственного спутника Земли в космическом пространстве.

Исходный материал: справочная литература [2-7], персональная ЭВМ, схемы и формулы для расчета, модели небесной сферы.

Задание:

1. Построить на модели небесной сферы горизонтальные координаты какого-либо небесного тела.
2. Построить модель небесной сферы с экваториальными координатами какого-нибудь небесного тела.
3. Рассчитать в градусах расстояние от зенита до точек востока, юга?
4. Пересчитать инерциальные координаты ИСЗ в географические (гринвичские) и в криволинейные геодезические (широту, долготу, высоту).
5. Получить данные телеметрической информации с интернет-сайтов в форматах NASA и AMSAT.
6. Расшифровать полученные данные в соответствии с описанными шаблонами и получить исходные данные

2.4. Координаты подспутниковой точки и трасса метеорологического спутника земли на поверхности планеты

Цель работы: получить практические навыки расчета координат подспутниковой точки и построения трасс полетов спутника.

Исходный материал: справочная литература [1-7], приведенные схемы моделей небесной схемы, персональная ЭВМ.

Задание:

Указать систему координат, в которой удобно определять положение спутника и элементы его орбиты.

Определить преимущество спутника, имеющего наклонную орбиту, перед спутником со стационарной орбитой с точки зрения трассы И СЗ.

Указать системы координат, для выполнения расчета подспутниковой точки.

Как изменяются координаты подспутниковой точки стационарного спутника.

Получить, или подготовить самостоятельно набор данных для расчета.

Рассчитать подспутниковую точку для космического аппарата на конкретный момент времени.

Схематично построить трассу движения любого спутника на выбор.

2.5. Временная и географическая привязка спутниковых изображений. Дешифрирование данных

Цель работы: ознакомится с основными видами картографических проекций, выполнить географическую и временную привязку метеорологических объектов по спутниковым снимкам.

Исходный материал: справочная литература [4-7], персональная ЭВМ, спутниковые снимки метеорологических объектов и участка территории.

Задание:

1. Изучить виды картографических проекций и дать их подробную характеристику.

2. Описать основные принципы применения картографических проекций для максимально точной привязки различных географических регионов. Проанализировать характер основных искажений.

3. Определить географические проекции, которые используются для представления спутниковых данных в виде картированных изображений на нескольких известных сайтах.

4. Используя инструменты обработки изображений вырезать определенную территорию (в соответствии с вариантом), наложить на эту территории спутниковое изображение любого синоптического явления (на выбор), осуществить географическую привязку по координатам и местности синоптического явления, а также объектов на снимке.

5. Выполнить временную привязку одного синоптического объекта.

6. Выполнить дешифрирование спутникового снимка. На снимке выделить все синоптические объекты и охарактеризовать их применительно рассматриваемой территории.

7. Сделать выводы.

3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

3.1. Общие правила

В течение учебного периода по изучению дисциплины «Численный анализ атмосферных процессов» проводятся индивидуальные консультации. Основными видами занятий являются лекции, семинарские, практические и лабораторные занятия. Лекционные занятия проводятся в форме информационных сообщений с максимальным использованием раздаточного материала и средств мультимедиа. Практические и лабораторные занятия проводятся в форме семинаров-практикумов, дискуссий, индивидуальных выступлений-презентаций студентов, решения поставленных задач, расчетов погодных условий с применением компьютерных средств. Для промежуточной и итоговой диагностики знаний и компетенций студента по учебной дисциплине возможно применение следующего диагностического инструментария: письменный тестовый опрос; устный индивидуальный опрос; устный фронтальный опрос; аудиторный контрольный диктант; тематические презентации; индивидуальные и групповые расчетнографические работы. Для оценки знаний по дисциплине применяются следующие виды контроля знаний: Текущий контроль: оценка активности работы студента на семинарах и лабораторных - проведение экспресс-опросов, выполнение индивидуальных заданий, расчетные работы. Промежуточный контроль: оценка знаний студентов с помощью проведения промежуточных тестов, контрольных диктантов. Итоговый контроль: итоговая оценка по результатам выполнения практических, устных ответов студентов, подготовки рефератов, проведение итогового экзамена. Используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система по курсу «Численный анализ атмосферных процессов» предполагает систематическую работу студентов на протяжении семестра и учитывает: посещаемость занятий, правильность и своевременность выполнения практических и лабораторных работ, качество ответа на семинарских занятиях и инициативность студента. Выполнение практикума считается обязательным основанием для допуска к экзамену. Результат рейтинга студента учитывается при выставлении итоговой оценки на экзамене.

Итоговая оценка формируется на основе: Правил проведения аттестации студентов, утвержденных Постановлением Министерства образования Республики Беларусь № 53 от 29 мая 2012 г.; Положения о рейтинговой системе оценки знаний, разработанного в Белорусском государственном университете (Приказ ректора БГУ № 382–ОД от 18.08.2015г.), критериям 48 оценки знаний и компетенций студентов, утвержденных приказом Министерства образования Республик Беларусь № 21–04–1/105 от 22.12.2003г.

3.2. Примерный перечень вопросов к экзамену и зачету

1. Предмет, цели и задачи спутниковой метеорологии. Назначение дисциплины. Значение спутниковой метеорологии в хозяйственной деятельности человека. Связь с другими дисциплинами. Краткие исторические сведения о развитии науки. Методы и средства гидрологических измерений.
2. Характеристика различных типов облаков, точность их распознавания и соответствие наземным формам.
3. Облачные структуры глубокой конвекции. Условия образования и связь с погодой.
4. Мезомасштабные барьерные эффекты фены, волны, вихри.
5. Мезомасштабный конвективный комплекс, признаки эволюции. Не фронтальные циклоны и их облачная система.
6. Классификация облачных систем в средних широтах, полярных регионах и тропиках.
7. Облачные структуры мелкой конвекции на снимках ИСЗ и их связь с метеорологическими условиями и барическими системами.
8. Типы метеорологических ИСЗ, параметры орбиты, каналы и аппаратура для различных целей, разрешение.
9. Что Вы знаете о форматах данных ИСЗ, поступающих по каналам ВМО во все центры обработки информации?
10. В чем различия информации, получаемой с геостационарных и полярно-орбитальных метеорологических искусственных спутников Земли?
11. Дистанционное зондирование системы Земная поверхность — атмосфера в радиодиапазоне. Получение информации о метеорологических величинах.
12. Какие методы классификации спутниковых изображений применяются в программных комплексах?
13. Какие ИСЗ используются для задач Службы погоды? Параметры орбит, характеристика аппаратуры.
14. В чем различия в использовании информации, полученной с помощью датчиков видимого и теплового диапазонов?
15. Как помогают ИСЗ проводить ледовую разведку в полярных районах?
16. Возможности оценок структуры облачного покрова с помощью цифровой информации ИСЗ.
17. Какая аппаратура используется ИСЗ для восстановления температуры поверхности и атмосферы? Требования к точности получаемой информации.
18. Какие сайты представляют калиброванную спутниковую информацию и основы интерпретации спутниковых снимков с учетом выходных данных численных моделей?
19. В чем особенности и различия оценок характеристик облачного покрова по спутниковым данным и наземным наблюдениям?

20. Каковы подходы к оценкам поля атмосферных осадков с помощью данных ИСЗ об облачности? Что такое «спутниковый ветер»?

21. Что такое априорная информация и для решения каких задач спутниковой метеорологии она используется?

22. Спектрометрическая информация ИСЗ. Восстановление вертикального распределения температуры в атмосфере. Методы и точность.

23. Какие стандартные пакеты обработки данных ИСЗ используются для восстановления вертикального профиля температуры и влажности?

24. Роль спутниковых систем в обнаружении и наблюдении за эволюцией торнадо и тропических циклонов.

25. Климатология радиационного баланса Земли. Спутники, их аппаратура.

26. Климатология облачного покрова Земли. Базы данных, требования к точности и пространственному осреднению.

27. Как помогают МИСЗ проводить ледовую разведку в полярных районах?

3.3. Примерная тематика рефератов

1. История развития спутниковой метеорологии.
2. Искусственные спутники Земли.
3. Полярноорбитальные спутники
4. Геостационарные спутниковые системы.
5. Прогнозирование погоды и климата.
6. Получение спутниковых данных.
7. Временная привязка спутниковых изображений.
8. Роль облачности в спутниковом анализе.
9. Определение видов облаков по спутниковым изображениям.
10. Определение фронтов по спутниковым данным.
11. Восстановление вертикальных профилей атмосферы.
12. Подспутниковая точка.
13. Атмосферная коррекция полученных данных.
14. Станции приемки спутниковой информации.
15. Дешефрирование метеорологических данных.
16. Определение положения искусственного спутника Земли.
17. Спектрометрическая информация.
18. Космическое пространство.
19. Трасса метеорологического спутника.
20. Роль численных методов в анализе метеорологических данных, полученных спутниками.

3.4. Требования к рефератам

Объем реферата 8–10 страниц компьютерного текста (шрифт 12–14). Реферат должен содержать титульный лист, оглавление, введение, основную часть, заключение, список использованных источников и литературы. Все фактические данные, приведенные в реферате, должны содержать должным образом оформленные ссылки на соответствующий источник.

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Дисциплина «Спутниковая метеорология» относится к компоненту учреждения высшего образования, модулю «Дистанционные математические методы».

Связи с другими учебными дисциплинами. Данная учебная дисциплина органически связана со следующими дисциплинами: «Синоптическая метеорология» и «Моделирование процессов гидрологии и метеорологии».

ЦЕЛЬ: получение знаний о современных спутниковых системах последнего поколения и о физическом состоянии атмосферы и подстилающей поверхности Земли, метеорологических явлениях по данным наблюдений с искусственных спутников Земли

Основными задачами дисциплины являются:

– ознакомить с понятийно-терминологическим аппаратом, применяемым при работе со спутниковой информацией;

- ознакомить с методическими принципами устройства и работы искусственных спутников Земли (ИСЗ);

- дать представление о параметрах орбит различных типов ИСЗ и уравнениях движения спутников;

- ознакомить с основами интерпретации информации ИСЗ, включая понятия о различных каналах излучения для распознавания типов облаков, их высоты и количества;

- ознакомить с информационным обеспечением, программами для оценки гидрометеорологических характеристик с учетом знаний наземных и дистанционных наблюдений;

- дать представление о составлении карт облачности по спутниковым данным.

Изучение дисциплины базируется на основе знаний, полученных при изучении цикла специальных дисциплин государственного компонента и компонента учреждения высшего образования: физики, метеорологии и климатологии, физической метеорологии, синоптической метеорологии и динамики атмосферы, авиационной метеорологии, аэрологии.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- закономерности движения Земли и искусственных спутников Земли,

- распределение радиационных потоков в системе Солнце – атмосфера – Земля, спектральные характеристики электромагнитного излучения, поглощения и рассеяния;

- формы и структуры облачных образований;

- физические процессы, приводящие к образованию облачных систем, их эволюции и перемещению в атмосфере;

- состояния различных естественных объектов природной среды и синоптических ситуаций в определенных географических районах.

уметь:

-эффективно использовать метеорологическую информацию для оценки различных ситуаций и при решении прикладных задач;

-получать и обрабатывать гидрометеорологическую информацию с ИСЗ;

-применять данные ИСЗ для метеорологического прогноза и валидации результатов численного моделирования атмосферных процессов.

владеть:

-современными методами анализа информации;

В результате изучения учебной дисциплины формируется следующая компетенция:

СК-11- Быть способным владеть методами дистанционного измерения гидрометеорологических параметров атмосферы и гидросферы, полученных с космических спутников, методами дешифрирования снимков

Форма получения высшего образования – дневная, очная. Занятия проводятся в пятом семестре на третьем году обучения.

Всего на изучение учебной дисциплины «Спутниковая метеорология» для специальности «Гидрометеорология» отведено: 108 часов, в том числе 48 аудиторных часов, из них лекции составляют 26 часов, практические занятия – 14 часов, практические занятия для дистанционного обучения – 4 часов, контроль учебной самостоятельной работы дистанционного обучения – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет.

4.1. Содержание учебного материала

4.1.1. Цели, задачи, содержание, предмет спутниковой метеорологии. История науки. Связь с другими науками.

Цели, задачи и предмет спутниковой метеорологии. Краткий исторический обзор развития искусственных спутников Земли. Связь курса со смежными науками.

4.1.2. Основные астрономические понятия. Теория движения искусственных спутников Земли (ИСЗ). Физические основы измерений с помощью спутников.

Роль метеорологических спутниковых систем в программе Всемирной Службы Погоды и мониторинга окружающей среды. Задачи спутниковой метеорологии и климатологии на современном этапе. Требования к точности и пространственному разрешению получаемой информации. Астрономические и географические координаты. Время и его измерение. Солнечная система. Влияние видимости движения Солнца на дистанционное зондирование Земли из космоса. Движение спутников Земли. Основные законы и особенности движения небесных тел. Орбитальное движение. Народно-хозяйственное значение исследований.

Излучение системы Земля – атмосфера как источник метеорологической информации при наблюдениях из космоса. Решение

обратных задач теории переноса излучения в атмосфере. Особенности получения спутниковой информации, ее преимущества и недостатки по сравнению с наземной метеорологической сетью. Параметры орбиты МИСЗ. Взаимодействие сил, определяющих полет. Период обращения, время существования спутника.

4.1.3. Макроструктура облаков. Облачные системы микро- и мезомасштабов и их связь с метеорологическими процессами.

Макроструктурные особенности строения облачного покрова во внетропических широтах и их связь с синоптическими процессами. Облачные системы атмосферных фронтов и циклонических вихрей. Облачные системы теплых и холодных воздушных масс. Облачные системы антициклонов и струйных течений. Оценка эволюции облачных систем макромасштаба во внетропических широтах.

Различные классификации облачных образований. Генетическая классификация. Конвективные облачные ячейки и гряды, их разновидности и связь со стратификацией нижней тропосферы и полем воздушных течений. Массивы и гряды кучево-дождевых облаков и конвективных облачных вихрей. Орографические облачные образования, феновые эффекты, волнистые облака, влияние островов. Влияние термической неоднородности подстилающей поверхности на мезомасштабные характеристики облаков.

4.1 4. Типы ИСЗ и их характеристика.

Основные характеристики спутников. Сроки их действия. Высота орбиты. Важнейшие характеристики аппаратуры. Классификация спутников. Современные требования к конфигурации спутников. Спутниковые системы наблюдений. Метеорологические спутники Земли.

4.1.5. Получение, сбор, архивация и распространение информации спутниковых наблюдений. Дешифрирование данных.

Особенности получения изображений. Структура наземного комплекса. Спектральные каналы, их информативность. Сбор, архивация и распространение спутниковой информации. Централизованная схема. Автономная схема. Основные требования к получаемой видеоинформации: точность географической привязки, разрешение, искажения. Особенности дешифрирования облачного покрова в различных участках спектра: телевизионные, инфракрасные, микроволновые изображения. Изображения облаков различного масштаба: текстура, мезоструктура, макроструктура. Сопоставление оценок количества и типов облаков по спутниковым и наземным данным. Перспектива развития. Основные дешифровочные признаки. Особенности получения и дешифрирования изображений в различных участках спектра. Дешифрирование различных типов облаков.

4.1.6. Метеорологические спутниковые системы. Общая характеристика гидрометеорологической информации со спутников.

Высота и виды орбит метеорологических ИСЗ. Аппаратура метеорологических спутников и виды получаемой информации, пути усовершенствования. Спутниковые системы Европы, США и др. Геостационарные спутники. Получение гидрометеорологической информации со спутников и ее географический анализ.

4.1.7. Восстановление метеовеличин по данным спутникового наблюдения Земли.

Метеовеличины в атмосфере и их краткая характеристика. Оценка эволюции и перемещения облачных образований. Оценка эволюции облачного поля. Признаки формирования, эволюции и перемещения облачной полосы атмосферного фронта. Признаки циклогенеза. Эволюция и перемещение циклонических образований. Признаки перестройки атмосферных процессов Получение информации метеовеличин по спутниковым наблюдениям. Поле воздушных течений и его связь с полем облачности. Статистические и прогностические методы оценки поля осадков и их количества по данным ИСЗ. Поле воздушных течений и «спутниковый ветер». Современные методы архивации информации ИСЗ.

4.1.8. Временная и географическая привязка спутниковых изображений.

Дистанционное зондирование Земли. Привязка спутниковых изображений. Автоматическая привязка спутниковых изображений. Векторные космические снимки Земли. Масштаб и их обработка. Обработка спутниковой информации. Привязка спутниковых данных на местность. Определение вертикальных профилей температуры влажности и основных газовых компонентов атмосферы. Восстановление полей воздушных течений.

4.1.9. Количественная обработка спутниковой гидрометеорологической информации с помощью вычислительной техники. Численная интерпретация спутниковой информации.

Методы обработки и интерпретации данных наблюдений ИСЗ. Системы сбора и численного анализа спутниковой информации. Субъективные методы интерпретации и обработки изображений. Фотографические и оптические методы обработки изображений. Количественный подход к обработке и интерпретации информации с ИСЗ. Цифровое представление спутниковой информации. Дискретизация и квантование сигналов. Цифровые модели данных наблюдений ИСЗ. Проблема статистического описания и распознавания естественных объектов спутниковой информации.

Сравнение спутниковой информации с данными наземных наблюдений и результатами численного моделирования атмосферных процессов.

Распознавание и оценка характеристик опасных атмосферных явлений.

4.1.10. Спектрометрическая информация спутниковых наблюдений Земли. Вертикальный профиль температуры по спутниковым данным.

Спектрометрическая информация. Уравнение переноса электромагнитного излучения в различных диапазонах. Пассивная и активная радиолокация. Восстановление вертикального распределения температуры, геопотенциала, влажности в атмосфере. Выбор спектральных каналов. Способы восстановления прямой и косвенный, их точность. Учет априорной информации, радиационные модели. Решение обратных задач и их точность.

Способы оценки температуры и высоты верхней границы облачного покрова по данным дистанционного зондирования ИСЗ в окнах прозрачности атмосферы. Точность восстановления температуры поверхности океана. Априорная информация, передаточная функция атмосферы.

Поля радиационной и радиояркостной температуры и их использование для оценки общего влагосодержания атмосферы, водности облаков, определение кристаллических облаков и некоторых других метеорологических параметров

4.1.11. Определение положения ИСЗ в космическом пространстве.

Комическое пространство и его характеристика. Нахождение спутника в космическом пространстве. Возможности определения положения спутника на орбите. Определение расстояния до спутника. Использование мезоструктурных особенностей космических изображений облачности в анализе атмосферных процессов. Методы наблюдения за искусственными спутниками. Координаты небесных тел в космическом пространстве. Соотношение между Землей и небесной сферой. Горизонтальная система небесных координат. Экваториальные системы небесных координат. Взаимосвязь географических и астрономических координат.

4.1.12. Координаты подспутниковой точки и трасса метеорологического спутника Земли на поверхности планеты.

Орбиты метеорологических спутников Земли. Орбита искусственного спутника Земли в космическом пространстве. Горизонтальные и сферические координаты ИСЗ. Подспутниковая точка. Возмущающие факторы полета. Трассы ИСЗ различных систем.

4. 1.13. Спутниковая климатология и ее составляющие.

Климатические обобщения спутниковой аналоговой информации (отечественные и зарубежные). Климатические атласы и справочные издания по параметрам облачного покрова. Отличие пространственного распределения количества и типов облаков в различных широтных зонах Земли по спутниковым и наземным данным

Статистические характеристики количества облаков, их зависимость от площади осреднения. Особенности спутниковой аппаратуры для получения составляющих радиационного баланса Земли. Актинометрическая информация,

переход к интегральным потокам уходящей коротковолновой и уходящей длинноволновой радиации. Различия спутниковых и расчетных данных по наземным данным о климатических параметрах. Сопряженность полей метеорологических показателей и полей облачности

4.2. Рекомендуемая литература

Основная

1. Горбачёв, В.А. Семантическая сегментация спутниковых снимков аэропортов с помощью свёрточных нейронных сетей / В.А. Горбачёв, И.А. Криворотов, А.О. Маркелов, Е.В. Котлярова // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44, № 4. – С. 636-645. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-636.
2. Груздов В. В. Новые технологии дистанционного зондирования Земли из космоса / В. В. Груздов [и др.]. - Москва: Техносфера, 2019. - 482 с.

Дополнительная

3. Mapping and Modeling Weather and Climate with GIS. – Esri Press, 2015 - 461 p.
4. Андерсон Р.К. Использование изображений со спутников в анализе и прогнозе погоды. / под ред. Р.К. Андерсона и Н.Ф. Вельтищева.// Техн. записка ВМО – Л., Гидрометеоиздат, 1984 – 275 с.
5. Аргучинцев В.К. Динамика атмосферы – Иркутск: 2006. – 130 с.
6. Бакулин П.И. Курс общей астрономии/ И.П. Бакулин, Э.В. Кононович, В.И Мороз. – М.: Наука, 1977 – 545 с.
7. Вельтищев Н.Ф., Степаненко В.М. Мезометеорологические процессы – М.: 2006. – 104 с.
8. Гандин Л.С. Объективный анализ метеорологических полей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1963. – 288 с.
9. Герман М.А. Космические методы исследования в метеорологии – Л., Гидрометеоиздат, 1985 – 352 с.
10. Говердовский В.Ф. Космическая метеорология с основами астрономии : [Учеб. для вузов по направлению "Гидрометеорология", специальности "Метеорология"] / В. Ф. Говердовский; Рос. гос. гидрометеорол. ин-т. – СПб.: РГГМИ, 1995. – 216 с.
11. Использование спутниковой информации в синоптической практике /под ред.Н.П. Леонова. // Метод. Пособие- Моск. отд. Гидрометеоиздата,1982
12. Калинин Н.А., Толмачева Н.И. Практикум по космическим методам исследований в метеорологии. – Пермь, изд. Пермского университета, 2003 – 235 с.
13. Кондратьев К.Я. Спутниковая климатология – Л.: Гидрометеоиздат, 1986 – 263 с.

14. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли – М.: Мир, 1988 – 351с.
15. Крэкнелл А.П. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии – М.: Мир, 1984 – 547 с.
16. Лекции по численным методам краткосрочного прогноза погоды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – С. 637–700.
17. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – С.5-365.
18. Руководство по использованию спутниковых данных в анализе и прогнозе погоды / Под ред. И.П. Ветлова, Н.Ф. Вельтищева. - Л.: Гидрометеоиздат, 1987.
19. Симакина Т.Е. Получение и обработка спутниковых снимков. Учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2010. –127 с.
20. Analysis and Use of Meteorological Satellite Images. First Edition. Meteorological Satellite Center – Japan Meteorological Agency, 2002.
21. Барашкова Н.К. Атмосферные процессы: динамика, численный анализ, моделирование / Н.К. Барашкова, Л.И. Кижнер, И.В. Кужевская./ Учебное пособие. – Томский государственный университет. – Томск, 2010.
22. Д.Л. Лайхтман. Динамическая метеорология. – Л., Гидрометеоиздат, 1976 – 606 с.
23. Марчук Г.И. Облака и климат/ Г.И. Марчук и др. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986 – 512 с.
24. Матвеев Л. Т. Физика атмосферы. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2000 – 752 с.
25. Физическая метеорология: Учебник/ Б.А. Семенченко. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 415 с.

4.3. Электронные ресурсы

1. Венский институт геодинамики, концептуальные модели синоптических спутниковых систем, теория и описание отдельных случаев – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.zamg.ac.at – Режим доступа 13.05.2024
2. Данные ИСЗ Терра и Аква – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ecmwf.int/products/forecasts/d/charts/monitoring/satellite/airs – Режим доступа 13.05.2024
3. Научно-исследовательский Центр мониторинга Земли из Космоса– [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ntzomz.ru– Режим доступа 13.05.2024

4.4. Учебно-методическая карта

Дневная форма получения образования с применением дистанционных технологий

№ п/п	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Кол-во часов в ДО	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*8*
1.	Цели, задачи, содержание, предмет спутниковой метеорологии. История науки. Связь с другими науками.	2	2	-	-	-	-	Устный опрос
2.	Основные астрономические понятия. Теория движения искусственных спутников Земли (ИСЗ). Физические основы измерений с помощью спутников.	2	-	-	-	-	-	Устный опрос, практическая работа
3.	Макроструктура облаков. Облачные системы микро- и мезомасштабов и их связь с метеорологическими процессами.	2	-	-	-	-	-	Устный опрос
4.	Типы метеорологических ИСЗ и их характеристика.	2	2	-	-	-	-	Устный опрос, практическая работа
5.	Получение, сбор, архивация и распространение информации спутниковых наблюдений. Дешифрирование данных.	2	2	-	-	-	-	Устный опрос, практическая работа

6.	Метеорологические спутниковые системы. Общая характеристика гидрометеорологической информации со спутников.	2	-	-	-	-	2	Устный опрос
7.	Восстановление метеовеличин по данным спутникового наблюдения Земли.	2	2	-	-	-	-	Устный опрос, практическая работа
8.	Временная и географическая привязка спутниковых изображений.	2	-	-	-	-	-	Устный опрос
9.	Количественная обработка спутниковой гидрометеорологической информации с помощью вычислительной техники. Численная интерпретация спутниковой информации.	2	-	-	-	-	-	Устный опрос
10.	Спектрометрическая информация спутниковых наблюдений Земли. Вертикальный профиль температуры по спутниковым данным.	2	2	-	-	-	-	Устный опрос, практическая работа
11.	Определение положения ИСЗ в космическом пространстве.	2	2	-	-	-	-	Устный опрос, практическая работа
12.	Координаты подспутниковой точки и трасса метеорологического спутника Земли на поверхности планеты.	2	2	-	-	-	-	Устный опрос, практическая работа
13.	Спутниковая климатология и ее составляющие.	2	-	-	-	-	2	Устный опрос