СПУТНИКИ В МЕТЕОРОЛОГИИ, ОКЕАНОГРАФИИ И ГИДРОЛОГИИ

ВСЕМИРНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

(R)

WMO LIBRARY -www.wmo.int/library
000386

ВСЕМИРНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

СПУТНИКИ В МЕТЕОРОЛОГИИ, ОКЕАНОГРАФИИ И ГИДРОЛОГИИ

ВМО-№ 585

Секретариат Всемирной Метеорологической Организации
Женева 1982 г.

WMO is deeply indebted to

Mr. Arnold I. Johnson of the

United Kingdom Meteorological Office

for preparing the material

contained in this booklet.

Иллюстрации: Météorologie Nationale, France: обложка, стр. 54; Японское Метеорологическое Агентство: стр. 5, 52; Европейское Космическое Агентство: стр. 9, 19, 30, 31; National Oceanic and Atmospheric Administrations/National Earth Satellite Service, U.S.A.: стр. 17, 25, 33, 39; ГОСКОМГИДРОМЕТ, СССР: стр. 37, 40; Университет в Дунди, Соединенное Королевство: стр. 36; prof. J.T. Hougton: стр. 42; Royal Aircraft Establishment, U.K.: стр. 45.

1982 г., Всемирная Метеорологическая Организация
ISBN 92-63-40585-9

Содержание

Предисловие 4

Введение 5

Основные спутниковые возможности и методы 8

Спутники 12

Общие характеристики 12
Современные оперативные спутники с околополярной орбитой 14
Современные оперативные геостационарные спутники . . 18
Некоторые важные виды спутников для научных исследований 20

Спутниковые изображения и их применения 22

Анализ и прогнозирование погоды 22
Определение ветра и другая количественная продукция . 29
Другие применения в области метеорологии 32
Применения в области океанографии и гидрологии . . . 38

Другая спутниковая продукция и ее применения 42

Зондирование 42
Измерения параметров поверхности океанов 44

Сбор и ретрансляция данных 46

Спутники в программах ВМО 49

Будущая деятельность 53

Предисловие

Появление космической технологии и запуск первого искусственного спутника Земли в 1957 году обеспечили беспрецедентные возможности для проведения скоординированных и точных наблюдений и исследований атмосферы земли, океанов и массивов суши.

Метеорологи быстро оценили огромные возможности этих достижений в своей области, и с запуском первого метеорологического спутника в 1960 г. концепция имеющейся в настоящее время Всемирной службы погоды – глобальной системы метеорологического обслуживания всех стран мира – стала реальностью. В настоящее время спутниковые данные имеются у метеорологов всех стран и используются как в оперативной, так и в научной деятельности. Океанографы и гидрологи также пользуются значительными преимуществами, получая информацию, которая становится доступной благодаря новым устройствам, установленным на спутниках. Не будет преувеличением сказать, что наблюдения, производимые с помощью метеорологических спутников – с околополярной орбитой и геостационарных – явились основными элементами успеха Глобального метеорологического эксперимента ВМО/МСНС, ставшего одним из самых крупных международных научных экспериментов в истории, который был проведен в течение 1978-79 гг.

Всемирная Метеорологическая Организация, глубоко веря в то, что данные об атмосфере и океане, получаемые из космоса, становятся краеугольным камнем для подготовки долгосрочных прогнозов погоды по всему земному шару, предоставила космическим наблюдательным системам высокий приоритет. Эта политика проявилась в решении Исполнительного Комитета Организации выбрать темой Всемирного метеорологического дня в 1982 г. "Наблюдения погоды из космоса". При этом учитывалось, что Конференция Организации Объединенных Наций по исследованию и мирному использованию космического пространства (ЮНИСПЕЙС-82) также будет проведена в этом году.

Настоящая брошюра была подготовлена с целью отметить оба события. В ней содержится широкий обзор деятельности, связанной с использованием спутников в настоящее время для развития знаний в геофизических науках и особенно в области метеорологии, океанографии и гидрологии. Одновременно в брошюре рассматривается будущее и перспективы дальнейшего развития. Я надеюсь, что текст, содержащий большое число фотографий и иллюстраций, поможет более глубокому пониманию важности метеорологических спутников и спутниковой технологии не только метеорологами, океанографами и гидрологами, но и учеными многих других дисциплин и общественностью в целом.

А.К. Виин-Нильсен
Генеральный секретарь

Введение

Метеорология, океанография и гидрология могут быть описаны как науки, связанные с проведением наблюдений. Например, в метеорологии точные и всесторонние наблюдения за атмосферой в различное время имеют важное значение для исследований, вносящих вклад в наши знания и понимание поведения атмосферы. Не менее важное значение они имеют для прогнозов погоды и других специализированных областей метеорологии. Таким образом, хорошие наблюдения играют ключевую роль в качестве обслуживания, обеспечиваемого метеорологией для общества. Эти положения также относятся к океанографии и гидрологии.

Несмотря на широко признаваемую важность наблюдений, глобальный охват обычными метеорологическими наблюдениями с поверхности земли всегда был неравномерным. Он является достаточным в некоторых районах, главным образом в густонаселенных частях северного полушария, но совершенно недостаточен в других частях земного шара. К ним относятся удаленные части континентов и значительные районы океана (которые в общей сложности покрывают примерно три четверти поверхности земли), особенно в южном полушарии.

После запуска первого искусственного спутника Земли в 1957 г. метеорологи быстро оценили огромные возможности спутников, как средства, с помощью которого можно наблюдать за погодой на действительно глобальной основе. Всего лишь три года спустя, 1 апреля 1960 г., был запущен первый метеорологический спутник TIROS-1. Запуск этого спутника ознаменовал начало новой эры в метеорологии.

С того времени имело место большое число достижений, и в настоящее время метеорологи во всем мире имеют возможность использовать огромный объем данных наблюдений, поступающих почти непрерывно со специально оборудованных и весьма сложных спутников. Аналогичными преимуществами пользуются также океанографы и гидрологи; у них имеется много общих интересов с метеорологами, но в дополнение к использованию данных, которые являются прежде всего метеорологическими по своему характеру, их работа облегчается с помощью различных спутниковых приборов, специально разработанных для удовлетворения их потребностей.

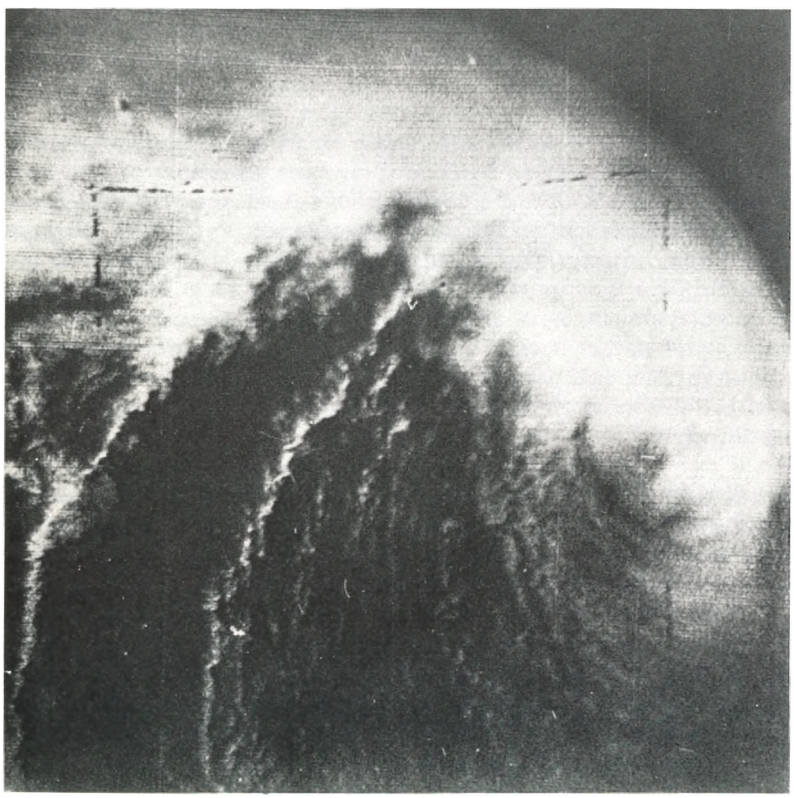
Несколько факторов делают спутниковые данные уникальными по сравнению с данными из других источников. Из их числа следует отметить несколько важных факторов.

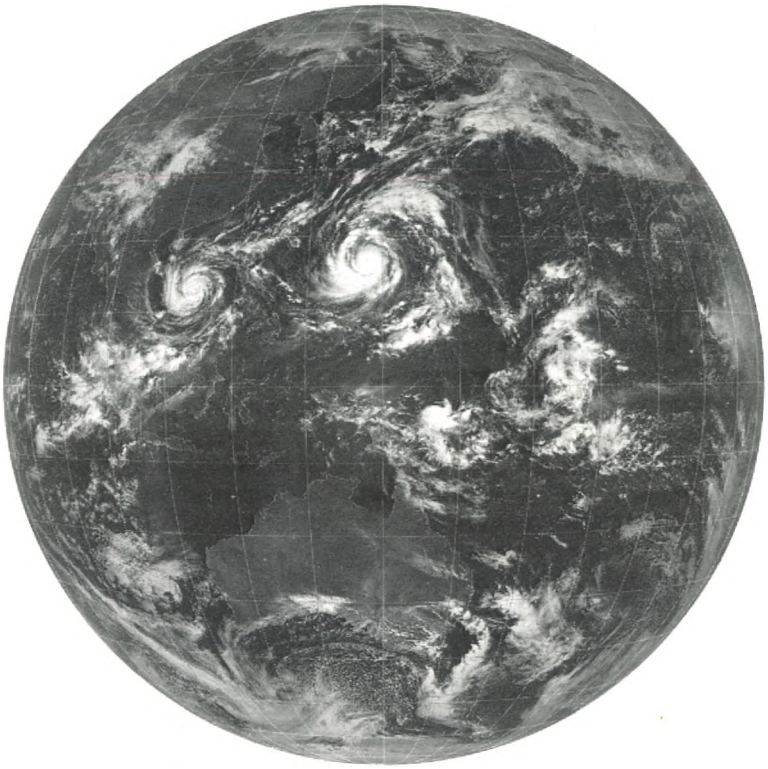
- Благодаря своей высокой позиции и широкому обзору спутник может обеспечить регулярное поступление данных из тех районов земного шара, из которых поступает очень мало обычных данных наблюдений. Эта способность устранить пробелы в охвате обычными наблюдениями над океанами и малонаселенными районами суши является основным вкладом спутников в улучшение прогнозов погоды.
- Широкой обзор атмосферы, достигаемый с высоты спутника,

позволяет рассматривать крупномасштабные погодные системы одновременно. Это является большим преимуществом по сравнению с ситуацией, когда характер крупномасштабной системы требуется определять путем соединения разрозненных данных, полученных с помощью ряда (и зачастую недостаточного) отдельных приземных наблюдений.

– Способность некоторых спутников постоянно наблюдать за большой частью атмосферы из космоса делает их особенно пригодными для мониторинга и предупреждений о кратковременных ураганах.
– Усовершенствованные системы связи, разработанные как неотъемлемая часть спутниковой технологии, позволяют быстро передавать данные со спутника или ретранслировать их с автоматических станций на земле и в атмосфере оперативным потребителям. Такие данные иногда имеются в наличии за несколько часов до поступления аналогичных данных из других источников, и ввиду того, что метеорологическая информация очень быстро утрачивает свою ценность, их важность для потребителя значительно увеличивается.

Первый снимок тропического циклона, полученный с помощью спутника. Снимок был сделан над южной частью Тихого океана, около 1 600 км к востоку от Брисбона в апреле 1960 г.





Снимок, сделанный японским геостационарным метеорологическим спутником (ГМС). В верхней части изображения видны два тайфуна.

В разделах ниже акцент делается на полезность спутников в области метеорологии, океанографии и гидрологии — на обеспечиваемой ими информации и способах ее использования. Полагают, что на первой стадии будет полезно, а также в общем плане интересно получить некоторое представление о методах, применяемых для получения информации, и об используемых спутниках. Поэтому эти темы вместе с широким обзором спутниковых возможностей включены в настоящий материал до особого обсуждения спутниковой продукции и ее применения. Эти вопросы фактически представляют собой расширенное введение к основной теме.

В весьма простом выражении метеорологические спутники имеют три основные способности – они могут 'видеть', 'слушать' и 'говорить'. Выражаясь более научно, они могут использовать различные типы датчиков для наблюдения за условиями в атмосфере и на поверхности земли; они могут получать данные, направляемые им с датчиков в других местах и могут передавать любую полученную ими информацию или данные потребителям на земле.

Наиболее широко известной, вероятно, является первая из этих способностей, так как красивым и впечатляющим изображениям, получаемым со спутников, в последние годы уделяется много внимания, и они широко рекламируются. В некоторых странах они регулярно включаются в сообщения о погоде по телевизору, появляясь, кроме того, время от времени в большом числе журналов, книг и учебных материалов. На протяжении ряда лет для получения снимков или изображений, как они в основном известны в метеорологии, использовались различные типы оборудования. Широкое использование получили системы Vidicon или телекамеры различных типов, но на самых современных спутниках используется радиометр.

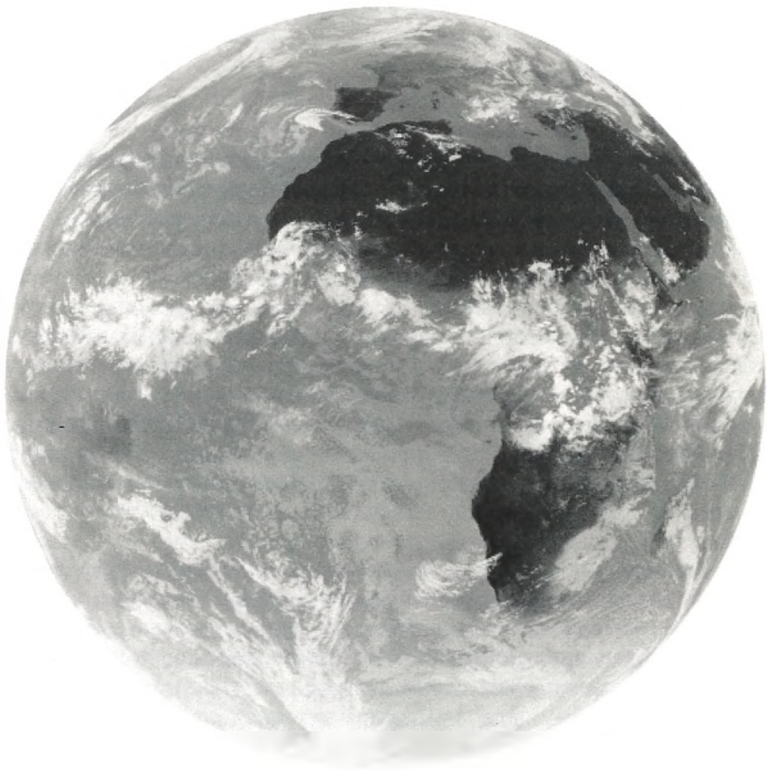
Как подразумевает его название, радиометр является в основном прибором для измерения уровней радиации, которая для целей настоящего документа может рассматриваться как свет (видимая радиация) или тепло (тепловое излучение). Конструкция производящего изображения радиометра, установленного на спутнике, позволяет в определенный момент получать и измерять уровень радиации только одной небольшой части всей площади, изображение которой требуется получить. Однако с помощью сканирующего механизма радиометр может охватывать большое число этих небольших элементов в быстрой последовательности, измеряя уровень радиации каждого элемента. На приемной наземной станции изображение получается с помощью более или менее обратного процесса. Значения радиации, полученные с помощью спутников, преобразуются в уровни яркости и показываются в их правильных относительных позициях на экране пригодного для этой цели фотоэлектронного устройства для вывода данных. Хорошим примером последнего является телевизионный экран.

Изображения, представляющие в настоящее время оперативный интерес и используемые метеорологами, океанографами и гидрологами, подразделяются главным образом на две широкие категории: обычно они называются 'видимыми' и 'инфракрасными' изображениями. 'Видимые' изображения получаются путем измерения радиации только в видимом диапазоне спектра (света), исключая при этом тепловое излучение. Они передают картину так, как ее увидел бы глаз человека, за исключением того, что она передается в черно-белом изображении, а не в цветах. Когда спутник в космосе смотрит вниз на землю, свет, который он получает является, фактически солнечным светом, отраженным от различных предметов под ним. Предметы, которые кажутся наиболее яркими на снимке в видимом диапазоне спектра, являются пред-

(а)

Два снимка, сделанные с помощью спутника METEOSAT одновременно в видимом (а) и в инфракрасном (б) диапазонах спектра. Относительно теплые поверхности суши кажутся на (б) очень темными, в то время как высокие облака, имеющие холодную температуру, кажутся почти белыми.

(б)



метами, отражающими солнечный свет по направлению к спутнику наиболее сильно. Как правило, на этих снимках будут видны имеющиеся облака, а также, возможно, покрытая снегом земля, лед и пустыни. После исчезновения дневного света получение изображений в видимом диапазоне спектра, как правило, становится невозможным, хотя яркий лунный свет обеспечивает достаточное освещение для наиболее чувствительных радиометров.

'Инфракрасные' изображения получаются по измерениям тепловой радиации или радиации в виде тепла, излучаемого (в отличие от отражаемого) предметами, в направлении которых обращен радиометр. Как ни странно, тепловую радиацию, хотя и в различных количествах, излучают даже те предметы, которые в повседневной речи были бы описаны как 'холодные', а не 'теплые'. Говоря в общих чертах, чем 'теплее' предмет, тем больше тепловой радиации он излучает. Поэтому инфракрасные изображения являются в основном отражением температур. Обычной практикой в метеорологии является расположение серых оттенков изображения таким образом, что чем больше значение радиации, излучаемой предметом, тем темнее он кажется. Таким образом, холодные вершины облаков кажутся почти белыми, в то время как нагретая поверхность земли, имеющая температуру намного выше, изображается в темно-серых или даже черных цветах. Инфракрасные изображения являются чрезвычайно полезными во многих отношениях, и некоторые из них будут обсуждены ниже. Одно из основных преимуществ инфракрасных изображений может быть оценено сразу: в отличие от изображений в видимом диапазоне спектра для них не требуется солнечный свет, который освещал бы местность и, поэтому, они могут получаться в ночное время и в высоких широтах в зимнее время.

Измерения температуры на различных высотах в атмосфере, производимые с помощью 'зондирующих' приборов, являются менее известными, чем спутниковые снимки, но они представляют большую ценность для метеорологов. Получение вертикальных температурных профилей (как они обычно называются) и соответствующих профилей содержания влаги, является сложной задачей, основанной на измерениях тепловой радиации, излучаемой самой атмосферой. В прошлом получение удовлетворительных результатов в регионах, покрытых облачностью (которые часто являются районами, в которых погода представляет наибольший интерес) было более трудным, чем в регионах, в которых небо свободно от облачности, но разработка новых методов для дополнительных измерений микроволновой радиации, излучаемой атмосферой, позволило устранить эту трудность. (Микроволновая радиация может также использоваться для получения изображений осадков и поверхности земли, но, как правило, не таких подробных, как с помощью измерений в видимом и инфракрасном диапазонах спектра). Большинство приборов для проведения зондирования на спутниках имеет сканирующее устройство, аналогичное механизму, используемому для получения изображений с тем, чтобы зондирование могло также производиться над довольно большим районом земли в течение короткого периода времени.

Все описанные методы основаны на использовании естественной радиации. Применение искусственной радиации хорошо известно в радиолокаторах, генерирующих микроволны. Аналогичные методы все более широко используются в области дистанционного зондирования. Одной из конкретных областей, в которой они представляются наиболее ценными, является определение характеристик поверхности океана со спутника. По существу, микроволны передаются со спутника вниз и в большей или меньшей степени отражаются назад поверхностью океана. Путем тщательного сравнения мощности свойств исходящих и входных сигналов можно получить данные о шероховатости поверхности моря, высоте волн, скорости ветра в нижних слоях атмосферы, количестве пакового льда и некоторых других параметрах. Одним из преимуществ микроволновой технологии при проведении наблюдений из космоса, является то, что микроволны почти обеспечивают возможность проведения измерений в любую погоду: они способны проникать сквозь большинство облаков, которые полностью блокируют другие виды радиации.

Переходя далее к краткому рассмотрению возможностей метеорологических спутников 'слушать', мы подходим к вопросу о сборе данных. Эти возможности не являются чем-то исключительным для спутников, рассматриваемых в настоящем материале, но тем не менее эти возможности представляются особенно ценными в метеорологии и связанных с ней областях.

Спутник, оборудованный средствами для сбора данных, может получать данные с датчиков для измерений параметров окружающей среды (измерительных приборов) для ретрансляции на центральную наземную приемную станцию и их дальнейшей передачи для метеорологического сообщества в целом или определенных потребителей. Датчики, с которых передаются данные, являются частью приборных комплектов, называемых платформами для сбора данных (ПСД), которые могут быть неподвижными или мобильными, располагаясь практически, в любом месте на суше или море или в атмосфере. Используемая технология позволяет производить сбор данных с нескольких тысяч ПСД с помощью одного спутника.

Со сбором данных тесно связан вопрос о 'расположении платформы'. После упоминания ПСД этот термин, возможно, говорит сам за себя. Местоположение мобильных платформ, которые не могут представить информацию о своих координатах, например, свободных аэростатов с метеорологическими датчиками, может быть точно установлено с помощью спутника, позволяя таким образом оптимально использовать их данные.

Третья основная способность спутников, предназначенных для измерений параметров окружающей среды, – способность 'говорить' – относится, прежде всего, к средствам, позволяющим данные, имеющиеся на борту спутника и полученные с помощью его собственных приборов или с ПСД, направить обратно на землю для соответствующего использования. В этом месте, возможно, уместно отметить, что речь идет не просто о передаче нескольких комплектов чисел, а об обработке каждую секунду миллионов единиц информации в цифровой форме. С борта спутника должны переда-

ваться не только данные наблюдений; для контроля и корректировки, в случае необходимости режима работы космического корабля центр управления полетом должен обеспечиваться всеми данными о состоянии и функционировании всех бортовых систем.

Большинство спутников имеет по крайней мере два различных канала (зачастую в различных частотных диапазонах), по которым передаются различные комплекты данных. В альтернативном варианте данные по этим каналам передаются с различными скоростями. Одним из преимуществ второго варианта является наличие возможности выбора в части, касающейся сложности (а, следовательно, и стоимости) наземного оборудования для приема спутниковых изображений. Можно иметь довольно простую станцию, которая будет принимать изображения, пригодные для большого числа практических целей, но без всех деталей и качества первоначальных данных; можно иметь намного более сложную станцию с возможным включением в нее ЭВМ, которая сможет обеспечить получение высокоскоростных передач с максимальными подробностями и высоким качеством.

Спутники

Общие характеристики

Метеорологические спутники, как правило, подразделяются на две группы в зависимости от их орбиты: спутники с околополярной орбитой или геостационарные.

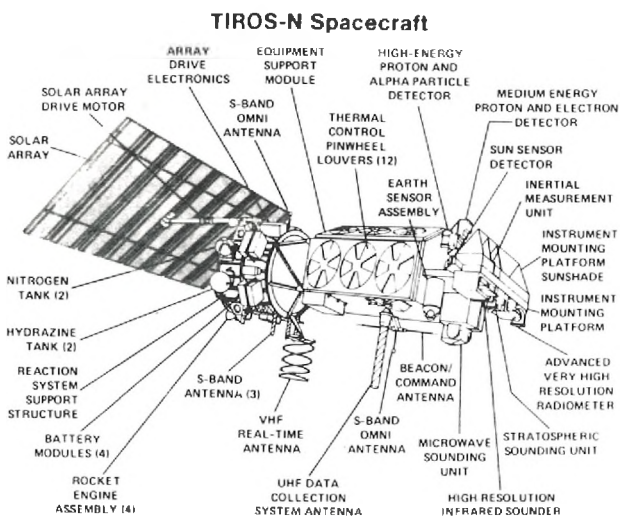
Спутники с околополярной орбитой летают обычно на высоте от 800 до 1000 км, проходя около Северного и Южного полюса в ходе выполнения одной орбиты, т.е. их орбита проходит, примерно, под прямым углом к экваториальной плоскости Земли. На один виток вокруг Земли у них уходит около 1 часа 45 минут и, из-за вращения Земли вокруг своей оси, каждая орбита по сравнению с предыдущей пересекает экватор, примерно, на 25° западнее по широте. Благодаря приборам, которые могут осуществлять боковое сканирование, определенное место на поверхности Земли попадает в поле зрения спутника по крайней мере два раза каждые двадцать четыре часа: один раз, когда спутник летит примерно с севера на юг и еще один раз когда он летит с юга на север. Возможность обзора определенного места более двух раз в сутки объясняется тем обстоятельством, что большое число приборов производит обзор достаточно далеко в сторону от траектории спутника, перекрывая это место во время выполнения спутником последующих витков. Особенно это наблюдается в высоких широтах, в которых последующие орбиты сближаются намного больше, чем около экватора.

Гелиоэлементы, имеющиеся на спутнике, преобразуют солнечную энергию в электрическую, которая используется для энергопитания бортовых приборов и оборудования. Для сохранения части вырабатываемой энергии используются батареи, что позволяет обеспечивать полное функционирование спутника в течение тех периодов,

составляющих, примерно, одну треть каждой орбиты, когда он находится в тени Земли, и гелиоэлементы не могут функционировать. Другим видом оборудования, обычно устанавливаемом на спутниках с околополярной орбитой, является устройство для регистрации данных. Спутник находится в поле зрения основной наземной станции только в течение непродолжительного периода нахождения на одной орбите и может полностью скрыться из поля зрения во время нахождения на нескольких других орбитах. Для получения станцией глобальных наблюдений, произведенных в течение этих периодов, данные должны регистрироваться в ожидании подходящей возможности для их передачи.

Геостационарный спутник (иногда называемый спутником с геосинхронной орбитой) остается неподвижным относительно Земли и поэтому всегда ведет наблюдение за одним и тем же районом ее поверхности. Это достигается путем вывода спутника на орбиту над экватором на такую высоту, на которой у спутника уходит ровно двадцать четыре часа для выполнения одного витка, что в точности соответствует скорости вращения Земли. Необходимая высота составляет почти 36 000 км или, примерно, 23 000 миль, что во много раз превышает высоту, на которой летают спутники с околополярной орбитой. Благодаря своей высокой выгодной позиции один геостационарный спутник может вести круговое наблюдение за площадью, составляющей свыше одной четверти поверхности Земли, хотя по направлению к границам этого района изображение становится слишком искаженным, чтобы быть полезным.

В отличие от спутников с околополярной орбитой геостационарные спутники находятся настолько далеко от поверхности Земли, что 99% своего времени они находятся в прямых лучах солнца. Как следствие этого, они испытывают небольшие потребности в батареях для сохранения энергии, вырабатываемой их гелиоэлементами. Однако каждый год на непродолжительное время они попадают в тень Земли во время двух дней равноденствия (21 марта и 21 сентября), когда солнце находится прямо над экватором. Проблема



Спутник TIROS-N – основные компоненты

частого пребывания вне поля зрения наземной станции управления полетом не возникает в случае с геостационарными спутниками. Поэтому при проведении обычных операций устройство для регистрации данных на борту геостационарных спутников не требуется.

Характеристики околополярных и геостационарных орбит предлагают метеорологу различные преимущества. Поэтому два типа спутников дополняют друг друга. В частности, спутники с околополярной орбитой могут обеспечить полный глобальный охват каждые 12 часов, в то время как геостационарный спутник, хотя и не обеспечивая глобальный охват, может контролировать значительную часть поверхности суши почти постоянно.

Современные оперативные спутники с околополярной орбитой

В этой категории имеются две серии спутников: серия спутников TIROS-N и серия спутников Метеор-2, операторами которых являются США и СССР, соответственно.

Серия спутников TIROS-N является третьим поколением оперативных спутников США с околополярной орбитой. Первый спутник этой серии был запущен 13 октября 1978 г., и программа была объявлена полностью оперативной 16 июля 1979 г. (после запуска второго спутника). Планируется, что эта программа будет осуществляться и в 1990 годах. В рамках данной программы имеется, как правило, два одновременно действующих спутника, вращающихся вокруг Земли по орбитам, которые расположены, примерно, под прямыми углами друг к другу. Таким образом, они попеременно проходят над определенной частью поверхности Земли с интервалами от 5 до 8 часов. Их высота над поверхностью Земли составляет порядка 850 км, и на каждый виток уходит около 101 минуты. Таким образом, в течение 24 часов они выполняют свыше 14 витков. Об орбитах говорят, что они являются "синхронизированными по солнцу", что означает пересечение ими экватора в одно и то же местное время (солнечное время) во время выполнения каждого витка. Это обеспечивает постоянное освещение для изображений в видимом диапазоне спектра на ежедневной основе. Каждый спутник разработан таким образом, чтобы продолжительность его функционирования составляла, по крайней мере, два года. Для поддержания системы, состоящей из двух спутников, через определенные интервалы запускаются запасные спутники.

На борту спутников устанавливаются четыре основных комплекта приборов. Один комплект обеспечивает изображения облачного покрова в видимом и инфракрасном диапазонах спектра или поверхности земли при отсутствии облаков; другой комплект предназначен для зондирования атмосферы; третий – для мониторинга солнечной активности, и четвертый – для сбора данных и определения места расположения платформ. Разрешающая способность изображений, т.е. размер отдельных элементов, из которых состоит изображение, немного превышает один километр. Интересно отметить, что по своему характеру серия спутников TIROS-N является до некоторой степени международной, т.к. часть оборудования для зондирования атмосферы (устройство для зондирования стратосферы), обеспечивающего данные о верхних слоях атмосферы, поставляется Соединенным Королевством, в то время как оборудование для сбора данных и определения местоположения

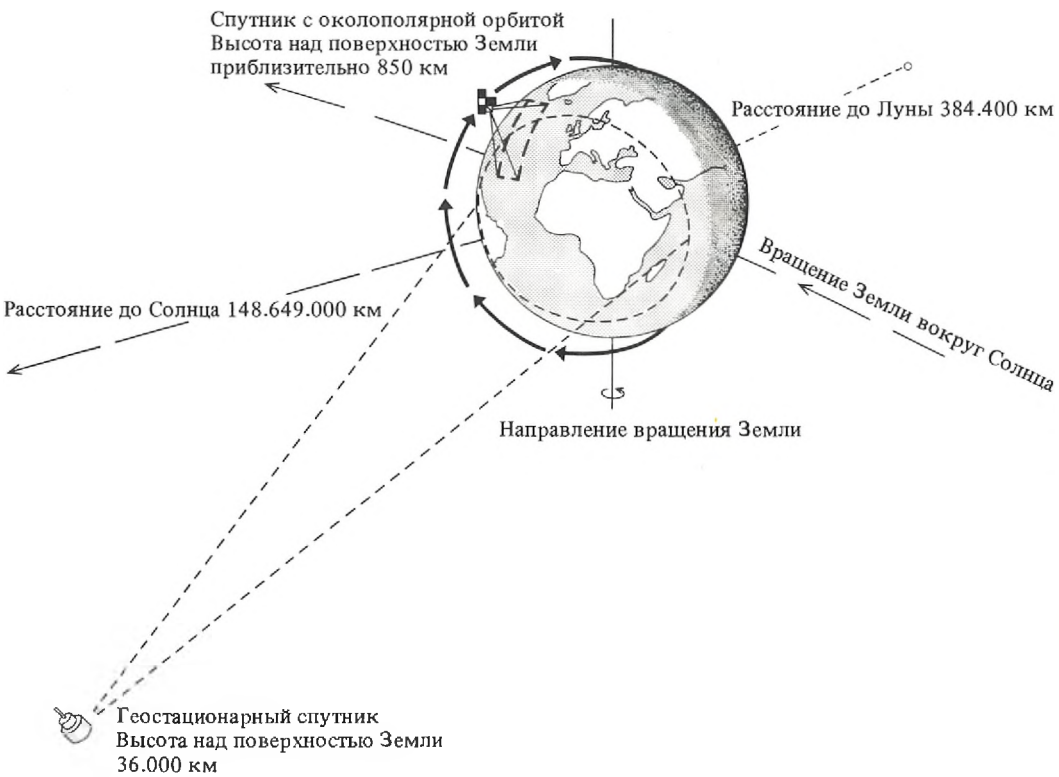
Прием автоматических передач изображений (APT) со спутника с околополярной орбитой. На факсимильном регистрирующем устройстве одновременно демонстрируются инфракрасные (слева) и видимые изображения.

Околополярный спутник Метеор-2 – внешний вид

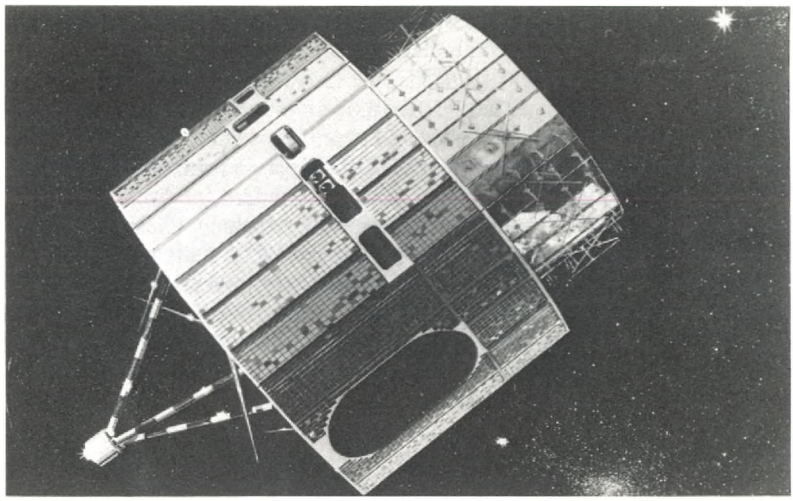
платформ, называемое АРГОС, производится во Франции.

Данные передаются на наземные станции с помощью трех отдельных прямых передач. Одна из них, служба автоматической передачи изображений (АРТ), позволяет на постоянной основе передавать изображения со средней разрешающей способностью (4 км) по мере их получения спутником. Они производятся в виде постоянно разворачивающейся полосы изображения с шириной, представляющей расстояние порядка 2 600 км, и поступление изображений прекращается после того, как спутник исчезает за горизонтом приемной станции. Оборудование, необходимое для приема этого вида передачи, является относительно простым и недорогостоящим, позволяя широким слоям метеорологического сообщества, располагающим лишь скромными ресурсами, пользоваться преимуществами прямого приема изображений своего региона. В дополнение к оборудованным и действующим на профессиональном уровне станциям, большое число школ, колледжей и радиолюбителей смогли разработать свое собственное приемное оборудование АРТ.

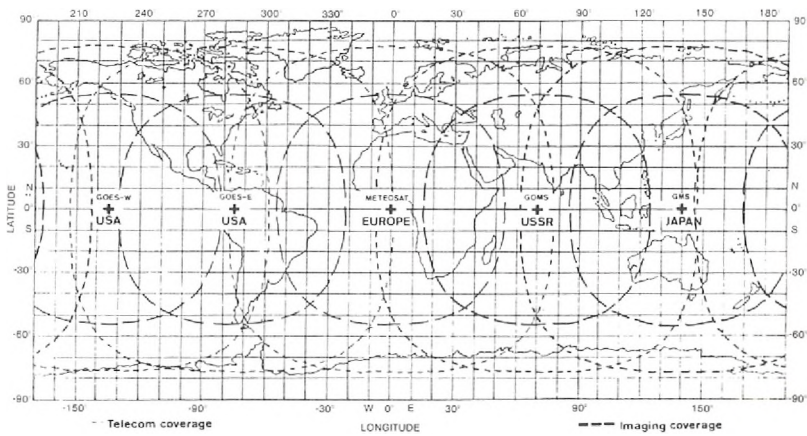
Спутники СССР Метеор-2, входящие в усовершенствованную оперативную метеорологическую спутниковую систему Метеор-2, были впервые введены в эксплуатацию в середине 1970-х годов. Они сменили более раннюю серию спутников Метеор, и их эксплуатация будет продолжаться по крайней мере до 1985 г., с запуском одного или двух спутников каждый год в течение всего



Схематическое изображение обзора Земли с околополярного и геостационарного спутников



Геостационарный оперативный спутник для исследований окружающей среды (GOES), эксплуатируемый США.



Охват геостационарных метеорологических спутников

этого периода. Их основная задача заключается в получении изображений в видимом и ифракрасном диапазонах спектра, хотя глобальное температурное зондирование производится на экспериментальной основе. Как у спутников серии TIROS-N на борту у них находится устройство для автоматической передачи изображений, передающее изображения с более низким разрешением. Высота их орбиты составляет 900 км, а на выполнение одного витка уходит около 102 минут. Изображения получаются с помощью трех различных приборов, установленных на каждом спутнике: для получения изображений в инфракрасном диапазоне спектра используется радиометр, для получения изображений в видимом диапазоне спектра с высоким разрешением имеется сканирующее оборудование телевизионного типа, служба APT обеспечивает передачу изображений с устройства, называемого сканирующим телефотометром.

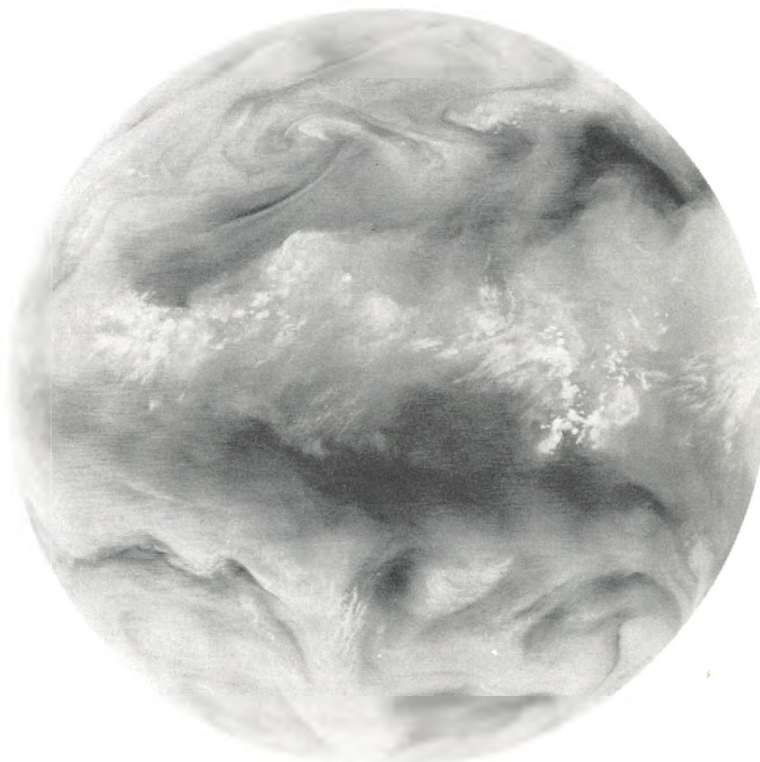
Современные оперативные геостационарные спутники

Геостационарные метеорологические спутники эксплуатируются США, Японией и Европейским космическим агентством. Они имеют много общего, и операторы спутников довольно тесно сотрудничают между собой. Сотрудничая в рамках деятельности международной группы по координации геостационарных метеорологических спутников, страны-операторы достигли совместимости систем сбора данных и в меньшей степени — в плане служб по распространению данных. В первом случае, обеспечивается непрерывный прием передач с подвижной ПСД, например, с ПСД на борту самолета спутником, когда самолет переходит от одного района, охватываемого спутником, к другому. Все спутники обеспечивают две прямые передачи; одна из них – WEFAX (метеорологические факсимиле) — имеет характеристики, аналогичные передачам APT со спутников с околополярной орбитой. Путем добавления лишь одного или двух блоков оборудования станция APT может быть модифицирована для приема передач WEFAX.

Спутники США известны под названием геостационарных оперативных спутников для исследований окружающей среды (GOES). Два основных спутника расположены над 75° з.д. и 135° з.д. и, соответственно, известны под простым названием GOES-Восток и GOES-Запад. GOES-Восток осуществляет мониторинг погоды над восточной частью Северной Америки, всей Центральной и Южной Америкой и большей частью Атлантики, в то время как GOES-Запад ведет наблюдения за западной частью Северной Америки и значительной частью восточной части Тихого океана. Оба спутника обеспечивают частую передачу изображений всех наблюдаемых районов (или дисков) в видимом и инфракрасном диапазонах спектра. Обычно интервал между передачами изображений составляет 30 минут, но он может быть уменьшен всего лишь до 3 минут, если охват ограничен небольшой частью диска. Этот режим функционирования используется для проведения подробных наблюдений за погодными характеристиками, которые находятся в процессе быстрого изменения и развития. Данные об окружающей среде могут собираться с 10 000 ПСД каждые шесть часов. Два совсем недавно запущенных спутника GOES имеют на борту экспериментальное оборудование для зондирования атмосферы (как температуры, так и влажности) и являются первыми геостационарными спутниками, которые располагают этой способностью. Первые результаты были чрезвычайно многообещающими, но ожидается, что до получения данных оперативного зондирования, пройдет некоторое время, особенно ввиду того, что на современной стадии развития одновременное получение данных зондирования и изображений, не является возможным. Монитор для измерений в космическом пространстве, установленный на каждом спутнике GOES, включает в себя датчики для измерения солнечной активности и магнитного поля.

Европейский спутник называется METEOSAT. Он расположен над экватором на нулевом меридиане, откуда он может вести наблюдения за всем континентом Африки, большей частью Европы и Атлантического океана, а также частью Южной Америки. METEOSAT-1, первый спутник этой серии, был запущен в ноябре 1977 г., а METEOSAT-2 — в июне 1981 г. Основными задачами этих спутников является передача изображений, сбор и распрост-

ранение данных, а также обслуживание, в основном аналогичное тому, что обеспечивается спутниками GOES. В дополнение к обычным изображениям в видимом и инфракрасном диапазонах спектра, имеющиеся изображения включают в себя снимки, называемые "изображениями получаемыми по измерениям в полосе поглощения водяного пара". Эти изображения отражают среднюю влажность атмосферы на высоте между 5 и 10 км над поверхностью Земли. Районы, с повышенным содержанием влаги появляются на изображениях в виде относительно светлых оттенков, сухие районы изображаются очень темными цветами. Также могут быть видны вершины некоторых самых высоких облаков, которые выделяются на изображении в виде ярко-белых пятен. Изображения, получаемые по изображениям в полосе поглощения водяного пара, зачастую ярко демонстрируют крупномасштабный, быстроме-



Изображение, получаемое по измерениям в полосе поглощения водяного пара с помощью спутника METEOSAT, соответствующее изображениям в видимом и инфракрасном диапазонах спектра на странице 9. На снимке показано распределение водяного пара в верхних слоях атмосферы: сухие районы кажутся темными, а влажные районы, соответственно, светлыми. Вершины самых высоких облаков (особенно в тропиках) кажутся белыми пятнами.

няющийся характер основных параметров циркуляции глобальной атмосферы, которые не могут наблюдаться с помощью других методов.

Японский геостационарный метеорологический спутник (ГМС), иногда называемый Химавари, расположен над 140° в.д. и производит наблюдения за большой частью Восточной Азии, всей Австралазией и большим районом западной части Тихого океана. Первый спутник был запущен в июле 1977 г., а сменивший его ГМС-2 – в августе 1981 г. Основное метеорологическое оборудование также включает радиометр для получения высококачественных изображений; как у спутников GOES (но не METEOSAT) на его борту имеются приборы для мониторинга солнечной активности и измерения параметров космической окружающей среды. Обычные изображения всего диска производятся каждые 3 часа, но специальные наблюдения могут производиться в промежуточные сроки для научных целей или когда, например, проводятся наблюдения за сильным штормом или тайфуном.
Настоящий раздел был бы неполным без упоминания двух геостационарных спутников – ГОМС и INSAT, запуск которых ожидается в ближайшее время.

ГОМС – геостационарный оперативный метеорологический спутник – будет расположен в СССР над 70° в.д.. Для получения изображений в видимом диапазоне спектра будет использоваться сканирующее оборудование телевизионного типа, на борту спутника также будут иметься инфракрасные сканирующие приборы. Системы для сбора данных будут совместимыми с системами, имеющимися на уже описанных спутниках; в части, касающейся распространения изображений и данных с ПСД, ГОМС будет использоваться для распространения метеорологических карт.

INSAT, индийский национальный спутник, запуск которого планируется в первой половине 1982 г., будет являться многоцелевым геостационарным спутником, предназначенным для обеспечения телесвязи, а также удовлетворения потребностей в области метеорологии. Он будет расположен недалеко от спутника ГОМС над 74° в.д. и будет обеспечивать передачу изображений в видимом и инфракрасном диапазонах спектра каждые 30 минут и иметь на борту средства для сбора данных с 400 ПСД.

Некоторые важные виды спутников для научных исследований

Метеорологи, океанографы и гидрологи предпринимают значительные научные усилия в глобальном масштабе, при этом широко используя большое число видов спутниковых данных. Однако было бы неправильным полагать, что для этих научных исследований используются только данные с 'научных' спутников – огромный объем данных, получаемых с помощью уже описанных оперативных спутников, эффективно используется в многочисленных научных проектах и помогает лучше понять и решить большое число ключевых проблем этих наук.

Спутники, называемые 'научными', как правило, имеют две основные цели, которые могут быть тесно связаны между собой. Во-первых, с помощью некоторых или всех приборов, имеющихся на борту, они предназначены для оказания помощи в решении фундаментальных научных проблем, например, путем измерения некоторых параметров высоких слоев атмосферы, измерения которых ранее не производились. Во-вторых, и, возможно более часто, они обеспечивают возможность для разработки приборов и методов,

представляющих возможный оперативный интерес, которые ожидается использовать на оперативной основе когда-нибудь в будущем.

Программа США Нимбус, в рамках которой используются научные спутники с околополярной орбитой, предусматривает обе эти задачи, хотя в течение всего периода ее осуществления основное внимание уделялось разработке космических систем для получения данных, имеющих важное значение для улучшения прогнозов погоды. Спутники Нимбус обеспечили средства для проведения испытаний в ходе разработки различных приборов и датчиков, которые в настоящее время регулярно используются на оперативной основе. В этой серии имеется семь спутников: от спутника Нимбус-1, запущенного в 1964 г., до спутника Нимбус-7, запущенного в октябре 1978 г. На борту каждого спутника устанавливалось различное, постепенно все более сложное оборудование, начиная с относительно простых телекамер, использовавшихся вначале для передачи спутниковых изображений, до сложных приборов, предназначенных для зондирования температуры, которые имеются на борту этих спутников в настоящее время. В рамках программы был сделан ряд значительных достижений, связанных со спутниковой метеорологией; спутник Нимбус-1 впервые обеспечил передачу изображений облачности в ночное время; с помощью спутника Нимбус-3 впервые в глобальном масштабе стали определяться вертикальные температурные профили. На борту спутника Нимбус-7 имелось всего восемь различных приборов, предназначенных для измерений шероховатости поверхности моря, влажности почвы снежного и ледового покрова, цвета поверхности моря, облачности и приземной температуры, а также ряда других физических параметров атмосферы, которые являются слишком сложными для рассмотрения в настоящем документе.

В свою спутниковую программу Метеор, оперативная часть которой была описана выше, СССР включил несколько спутников, полностью предназначенных для экспериментальных исследований и оценок. Среди приборов имеется сканирующее оборудование телевизионного типа, позволяющее получать изображения в видимом диапазоне спектра с весьма высоким разрешением (600 м), а также специальные радиометры и другие приборы для точных измерений радиации.

Последний научный спутник США – спутник SEASAT-A или спутник для исследования динамики океана – явился знаменательным шагом вперед в применении спутников в области наук об окружающей среде. Его особое значение заключается в том, что его приборное оборудование предназначено в основном для измерений поверхности океана с использованием микроволновых методов. SEASAT был выведен на околополярную орбиту, на высоту примерно 850 км, 26 июня 1978 г. К сожалению, продолжительность его жизни была не такой долгой, как планировалось, т.к. 10 октября того же года он вышел из строя из-за крупной аварии в системе энергопитания. Однако во время пребывания на орбите, продолжавшегося более 90 дней, с помощью приборов для микроволновых измерений производился сбор данных, обеспечивший группы по анализу данных большим объемом работы по установлению их точности, изучению возможностей и ограничений спутника.

Все датчики, имевшиеся на спутнике SEASAT, были разработаны на основе прототипов, которые успешно использовались на других спутниках или самолетах. Приборное оснащение включало в себя радиолокационный альтиметр для измерений средней высоты волн и топографии поверхности моря, прибор, называемый скатерометром для определения скорости и направления ветра у поверхности моря, радиолокатор для наблюдений за волнами и распределением льда, а также микроволновый радиометр для измерений поверхностной температуры моря. Спутник SEASAT был назван полетом, 'подтверждающим концепцию'. Оценка его достижений и качества наблюдений ясно продемонстрировали возможности и потенциальную полезность спутника, предназначенного для океанографических целей.

Краткое упоминание серии спутников LANDSAT США является уместным здесь в связи с их использованием в гидрологии и некоторых областях океанографии, особенно в прибрежных зонах. LANDSAT является спутником для изучения природных ресурсов, предназначенным для получения изображений поверхности Земли с весьма высоким разрешением: разрешающая способность, как правило, составляет 80 или 40 м, но при некоторых обстоятельствах могут быть обнаружены предметы всего лишь 10 м шириной. LANDSAT-3, последний спутник этой серии, был запущен в марте 1978 г. Он имеет околополярную орбиту и во время выполнения каждого витка вокруг Земли охватывает наблюдениями полосу поверхности Земли всего лишь 185 км шириной, что намного меньше полосы обзора спутников с околополярной орбитой, которые были описаны выше. Поэтому, на обеспечение глобального охвата у него уходит 18 дней. Это обстоятельство делает его непригодным для большинства метеорологических применений. Один из его основных приборов, обеспечивающих получение изображений, называется многоспектральным сканирующим устройством – слово 'многоспектральное' означает, что изображения получаются одновременно в разных диапазонах видимого спектра (различных цветовых диапазонах). Путем сравнения и контрастирования этих изображений можно многое узнать о характере поверхности суши. Усовершенствованный спутник LANDSAT планируется запустить в течение второй половины 1982 г. На некоторых экспериментальных спутниках СССР Метеор устанавливалось устройство в некоторой степени аналогичное многоспектральному сканирующему устройству на спутнике LANDSAT. Франция ведет разработку для запуска в 1984 г. спутника SPOT, который будет обеспечивать изображения с разрешающей способностью 20 и 10 м, а также получение ограниченного числа панорамных снимков.

Спутниковые изображения и их применения

Анализ и прогнозирование погоды

Первая стадия подготовки прогноза погоды предусматривает составление полного описания имеющихся метеорологических условий над и вокруг района, по которому требуется прогноз.

В случае, если не будет учтен какой-нибудь важный элемент, возникает реальный риск того, что прогноз будет содержать серьезные ошибки, как бы хорошо ни были выполнены другие стадии этой задачи. Точное определение важности элементов и необходимость их детализации в значительной степени зависят от характера прогноза, но вне зависимости от назначения прогноза – по локальному району на два часа или по более крупному району на несколько дней вперед – основной принцип остается одним и тем же. Чем

Спутниковые изображения используются в бюро прогнозов в качестве пособия для анализа метеорологических карт.

полнее и точнее первоначальный анализ, тем больше вероятность выпуска точного прогноза.

Спутниковые изображения вносят свой самый большой вклад в процесс прогнозирования погоды путем обеспечения информации для этой первой стадии. В мире имеется мало районов, если таковые вообще имеются, по которым спутники не могут добавить свою информацию к знаниям погодных условий, получаемым с помощью обычных приземных наблюдений. В некоторых районах спутники являются практически единственным источником информации, имеющимся у прогнозистов на постоянной основе.

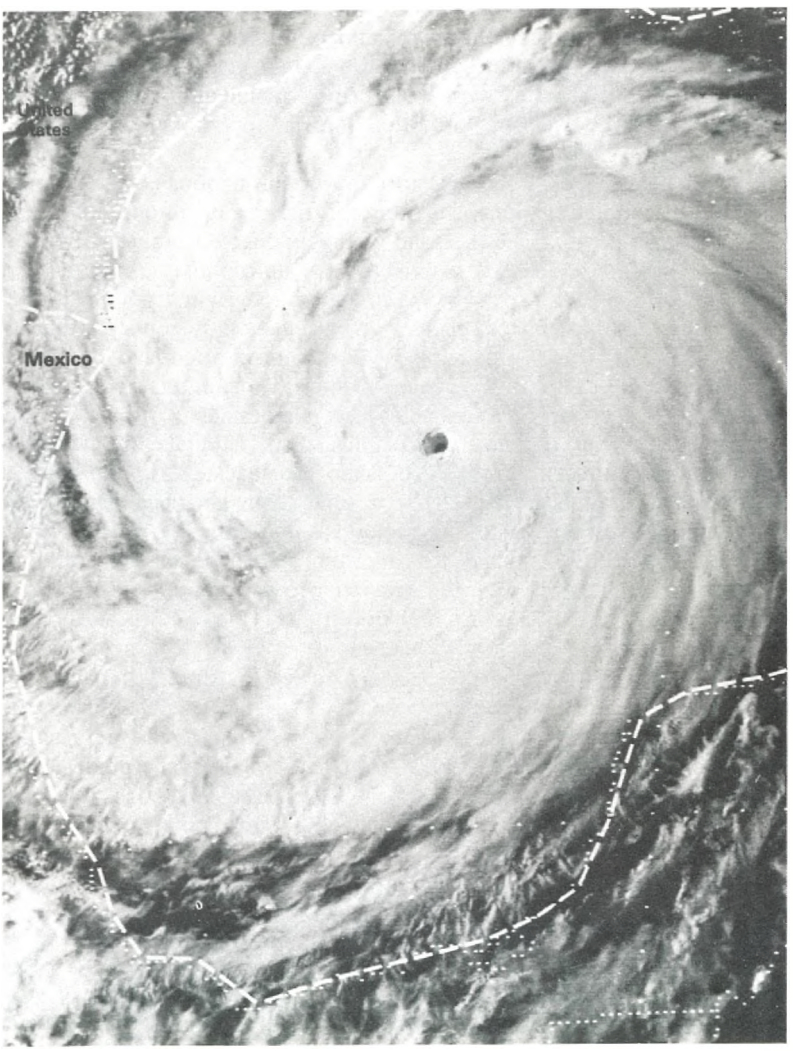
Каждому, кто видел снимки, полученные с метеорологического спутника, известно, что на нем содержится информация об облаках: их распределении, размерах, группировках и иногда также об их структуре и строении. Эта информация может быть полезной сама по себе, но опытному метеорологу она дает ключи к другим и зачастую более важным аспектам метеорологической ситуации.

По данным о структуре облачности он может сделать вывод о месте расположения и интенсивности таких основных погодных систем, как области пониженного давления и связанные с ними фронтальные системы в средних широтах или сильные циклоны, происходящие в тропиках. На изображении также отчетливо видны относительно мелкомасштабные элементы такие как фронты шквалов и грозы; на основе характеристик системы облаков может быть сделан вывод о вертикальном движении воздуха, которое с метеорологической точки зрения может иметь такое же важное значение, как и более известное горизонтальное движение воздуха и турбулентность воздуха в районе возвышенностей.

Последовательные изображения, охватывающие один и тот же район, дают ценную дополнительную информацию. В дополнение к определению местоположения различных элементов появляется возможность наблюдать за их движением, ростом, разрушением. Геостационарные спутники полезны именно в этом контексте; изображения одного и того же района через регулярные интервалы времени, в большинстве случаев каждые 30 минут, позволяют наблюдать эволюцию погодных систем на разных стадиях и выявляют тенденции, которые часто могут быть с пользой использованы для прогностических целей. Многие оперативные потребители используют методы мультипликации или имеют устройства для ускоренной съемки последовательных изображений для демонстрации последовательных изображений с геостационарных спутников, и их опыт показывает, что особенно с мелкомасштабными элементами этот метод часто позволяет отметить интересные и важные события, которые в другом случае оказались бы незамеченными.

Для облегчения использования и интерпретации изображений имеются другие средства, предназначенные не только для прогностических целей, но и для других применений. Одним из методов является контрастирование изображений, в процессе которого различные серые оттенки изображения систематически корректируются для получения более четкого изображения отдельного элемента или получения дополнительной информации. Высококачественные изображения состоят из большого числа градаций яркости (или серых оттенков), намного превышающего 16 оттенков, которые может различить глаз человека. Поэтому без контрастирования некоторые мелкие детали на изображениях не видны. Самым простым видом контрастирования снимков является 'расширение' гаммы серых оттенков: путем подчеркивания разницы между двумя оттенками серого цвета, которые выглядят очень похожими друг на друга, промежуточные оттенки серого цвета могут быть сделаны намного более четкими. В целях максимальной эффективности некоторые потребители используют системы, которые могут показывать изображения на телевизионном экране, либо отдельно, либо в приведенной в движение их последовательности; при этом степень контрастирования может меняться путем нажатия кнопки на пульте управления, а также с помощью ряда других средств, таких как увеличение снимка выбранного района. Все эти методы предназначены для оказания помощи в извлечении максимальной пользы из изображений. Обычно эти системы описываются как интерактивные.

Изображения в видимом и инфракрасном диапазонах спектра вносят значительный вклад в составление анализов и прогнозов погоды. Изображения в видимом диапазоне спектра являются особенно полезными для показа с помощью теней и светлых пятен, имеющихся на изображении, структуры облаков. Они также дают информацию о толщине облаков (в целом, чем ярче облака на изображении, тем больше их толщина) и о составе облаков (в аналогичных условиях освещения водяные облака обычно выглядят ярче, чем ледяные облака той же толщины). Особые достоинства изображений в инфракрасном диапазоне спектра заключаются в том, что, как уже отмечалось, они могут получаться как в ночное, так и в дневное время с оттенками серого цвета, которые являются индикаторами температуры. Относительные температуры верхней границы облачности, а следовательно и относительная высота облака, видны с первого взгляда. Поэтому инфракрасные изображения позволяют специалисту по анализам различать высокие и низкие облака, которые могут выглядеть почти одинаковыми на соответствующем изображении в видимом диапазоне спектра.



Впечатляющий снимок урагана Аллен над Мексиканским заливом в августе 1980 г., полученный с одного из спутников GOES.

Туман, фактически, является слоем облака у поверхности земли и при условии отсутствия другого облака над ним он, как правило на изображении в видимом диапазоне спектра, выглядит как довольно яркое пятно, но будет едва различим на изображении в инфракрасном диапазоне спектра, т.к. его температура незначительно отличается от температуры окружающего его района суши или моря, свободного от тумана.

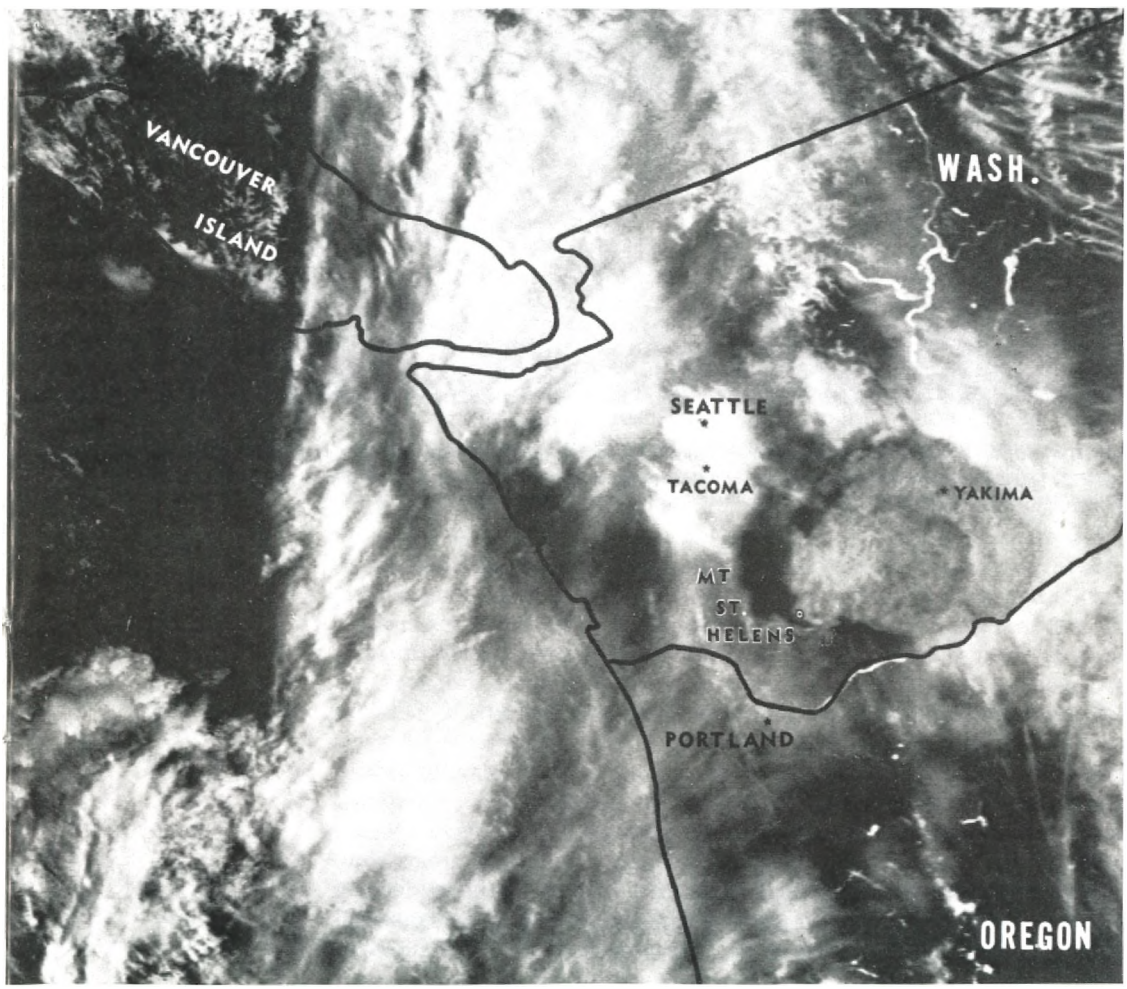
Использование спутниковых изображений в анализе и прогнозировании тропических циклонов является особенно важным применением, заслуживающим более подробного описания. Ярость разбушевавшегося тропического циклона, ущерб, разрушения и человеческие жертвы, которые он может вызвать, хорошо известны, и метеорологи предпринимают значительные усилия, направленные на повышение точности прогнозов о тропических циклонах, выпуская бюллетени с предупреждениями. Эффективное использование спутниковых изображений несомненно помогло добиться значительных улучшений; за последние годы имели место различные случаи, когда удавалось значительно уменьшить число человеческих жертв или даже предотвратить их совсем путем выпуска точных и своевременных прогнозов. Тем не менее, следует признать, что стопроцентный уровень успеха до настоящего времени еще не достигнут, и работа по улучшению наших знаний и понимания тропических циклонов должна продолжаться.

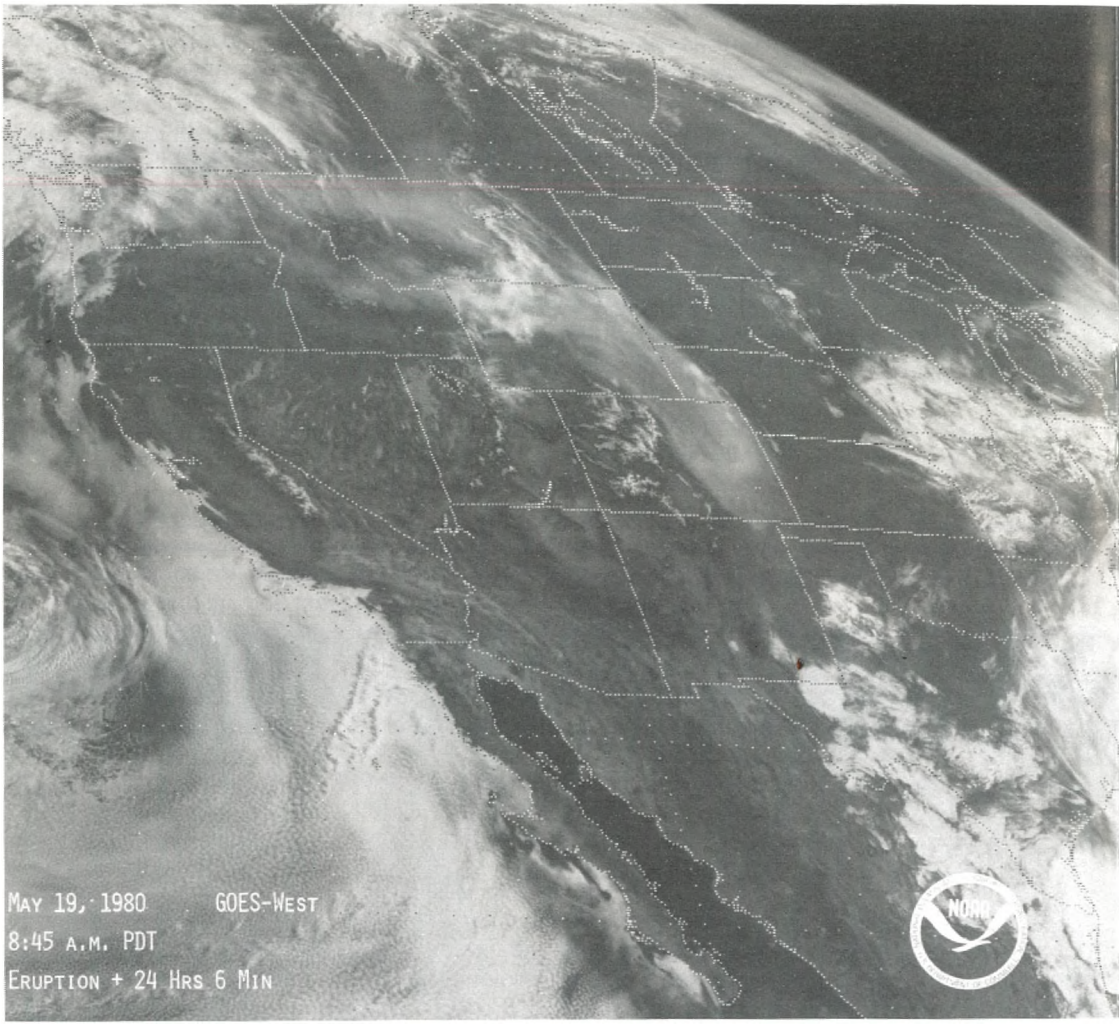
При прогнозировании тропических циклонов изображениям, получаемым с геостационарных спутников, отдается предпочтение перед снимками со спутников с околополярной орбитой, главным образом потому что возможность наблюдать за циклоном из одной относительно выгодной для обзора позиции в течение продолжительного периода времени оказывает значительную помощь в этой работе. Глаз циклона часто может быть виден довольно четко на изображениях с высоким разрешением, позволяя прогнозисту определить его местонахождение с точностью, которая редко достигается только с помощью приземных наблюдений. Определение интенсивности шторма (обычно называемой максимальной скоростью установившегося ветра или минимальным давлением у поверхности моря) на основе изображений является более трудной задачей. Однако были разработаны сложные методы для ее оценки по деталям формы и визуальным характеристикам связанной с ней системы облаков, видимой на изображениях как в видимом, так и в инфракрасном диапазоне спектра. При этом также используются данные о температурах верхней границы облачности, полученные с помощью изображений в инфракрасном диапазоне спектра. Эти различные параметры и их последние тенденции вводятся в идеализированные модели поведения тропических циклонов для получения прогноза для определенного времени в будущем. Были также разработаны методы использования спутниковых изображений для определения возможности развития относительно слабого тропического возмущения на более поздней стадии его жизни и достижения им интенсивности тропического циклона.

Имеется ряд еще не упоминавшихся явлений, которые могут быть выявлены на спутниковых изображениях и которые представляют

особый интерес в плане их прогнозирования для специализированных потребителей. Например, при выпуске прогнозов для авиации изображения часто используются для определения местонахождения струйных течений и турбулентности. Струйные течения представляют собой пояса сильных ветров ограниченных вертикальных размеров, но часто достигают нескольких сотен километров в длину, происходя на высотах, часто используемых самолетами, и могут значительно влиять на продолжительность их полетов и общее потребление топлива. Граница наиболее сильных ветров (ось струйного течения), как правило, становится видна благодаря характерной структуре облачности. Индикатором турбулентности также являются отличительные формы облачности, по которым опытный специалист в области авиационной метеорологии может произвести оценку ее интенсивности. Едва ли требуется говорить о том, что спутниковые изображения широко используются в качестве пособия для инструктажа летных эки-

Снимок с высоким разрешением, полученный со спутника NOAA-6 серии TIROS-N, произведенный вскоре после извержения вулкана на горе Святой Елены в северо-западной части США, которое произошло 18 мая 1980 г. Облако вулканического пепла уже распространилось до Якимы и далее.





Снимок, сделанный спутником GOES – Запад примерно через 24 часа после снимка на предыдущей странице. Гора Святой Елены видна в верхнем левом углу изображения, и облако пепла кажется большим белым районом, простирающимся к востоку и к юго-востоку.

пажей о метеорологической ситуации, имея особо ценное значение для полетов на большие расстояния по маршрутам, по которым других данных метеорологических наблюдений имеется мало. Однако членам летных экипажей приходится иногда напоминать, что снимки не являются прогнозом и на некоторых участках их маршрута изменения могут произойти довольно быстро.

Специалисты, занимающиеся прогнозами для морских потребителей, могут использовать спутниковые изображения для получения информации о поверхностной температуре моря (которая будет рассматриваться более полно позднее), площади, покрытой морским льдом, и иногда данных о шероховатости поверхности моря, а следовательно, и о ветре у поверхности. Площадь ровной поверхности моря без облаков над ней действует как зеркало при попадании на нее солнечного света и, если угол обзора радиометра

на спутнике составляет 90°, этот район на снимке в видимом диапазоне спектра будет казаться ярким пятном. Это пятно называется бликом. Ввиду того, что шероховатость поверхности моря определяется в значительной степени ветром над ней, блики предполагают наличие очень слабых ветров.

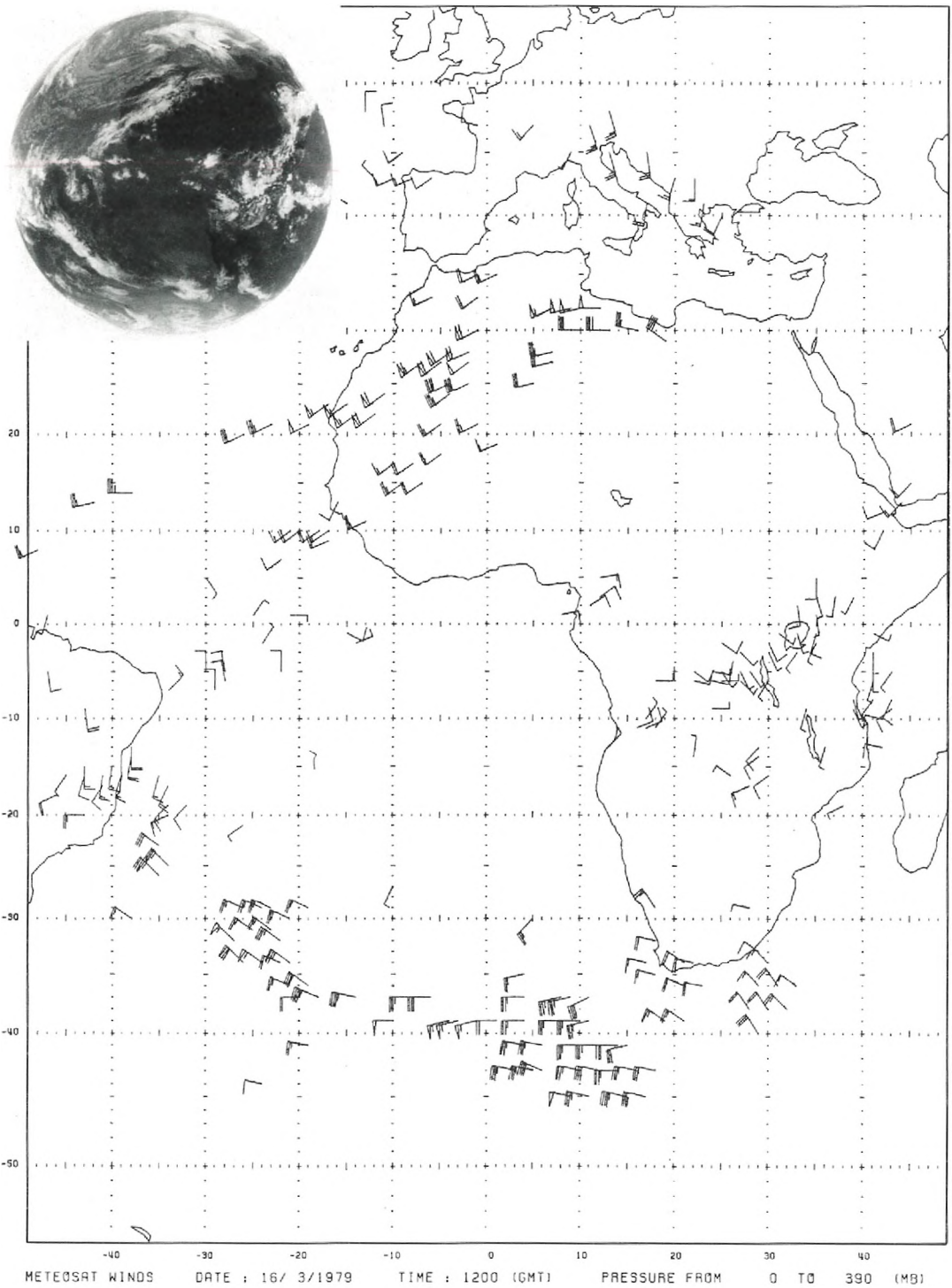
Другие явления, наблюдаемые на изображениях и используемые для целей прогнозирования, включают в себя перенос пыли и песка. Частицы, переносимые ветром образуют 'облако' с плохо обозначенными границами, делающие нечеткими на видимых изображениях элементы рельефа (такие как береговые линии). В некоторых случаях эти элементы рельефа делаются совершенно невидимыми. Пылевые облака, появляющиеся в результате извержения вулкана, видны на снимках аналогичным образом и легко просматриваются на изображениях по мере их удаления от источника возникновения и постепенного рассеяния.

Определение ветра и другая количественная продукция

Все операторы спутников GOES, ГМС и геостационарных спутников METEOSAT используют изображения для регулярного определения ветра на различных уровнях в атмосфере. Основа метода является весьма простой: поддающиеся определению элементы облачности прослеживаются от одного изображения к другому и, основываясь на предположении, что они передвигаются вместе с ветром, данные о их перемещении могут быть преобразованы в скорость и направление ветра. К сожалению, это предположение не всегда соответствует действительности. Например, развитие или разрушение облаков может внушить иллюзию об их движении, а облака в горах могут оставаться в более или менее неподвижном состоянии при наличии сильного ветра. Поэтому, во всех используемых методах предусматриваются меры для исключения, насколько это возможно, облаков, которые не передвигаются вместе с ветром.

Точные измерения довольно небольших изменений географического положения облаков за 30-минутный интервал между последовательными изображениями, требуют высокой степени стабильности метода, предназначенного для сканирования диска Земли. Это достигается путем вращения спутника (и радиометра) со скоростью порядка 100 оборотов в минуту таким образом, что он действует как гироскоп. Местонахождение рельефных элементов береговых линий, свободных от облаков, на последовательных изображениях, тщательно сравнивается для внесения поправок на движение облаков, которое явно не соответствует действительности, а вызвано небольшими изменениями орбиты или ориентации оси вращения спутника.

С тем, чтобы полученные данные о ветре были полезными для целей метеорологического анализа и прогнозирования, они должны быть привязаны к определенной высоте в атмосфере. В этом случае также имеются некоторые трудности, но основной используемый метод предусматривает определение температуры верхней границы облачности, которая измеряется (по информации на изображении в инфракрасном диапазоне спектра) и преобразуется в высоту над поверхностью Земли.



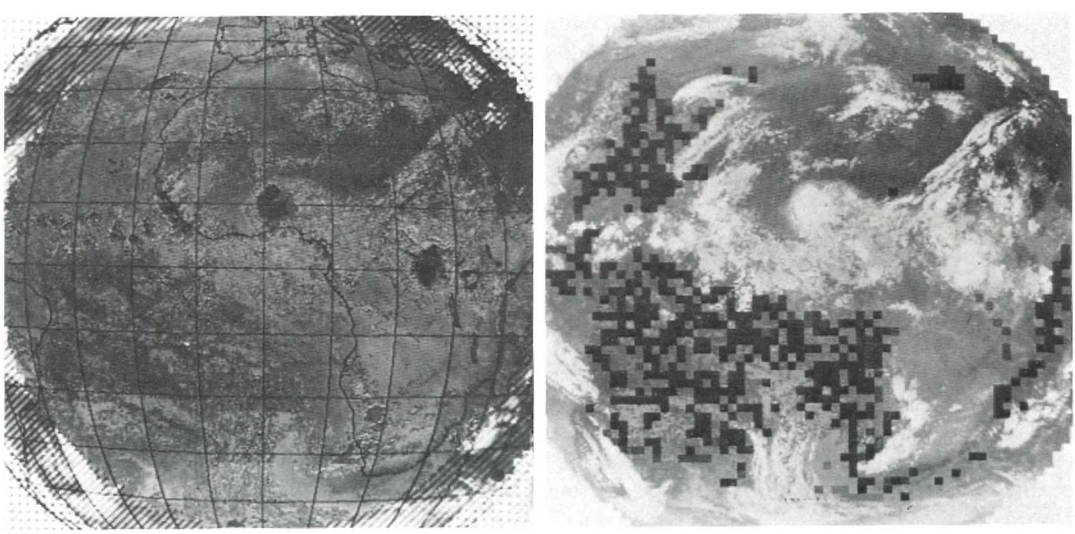
Совокупность данных о ветре, полученных по последовательным позициям выборочных высоких облаков на основе 3 последовательных снимков спутника METEOSAT в инфракрасном диапазоне спектра (на схеме стрелки указывают направление ветра, а оперение стрелок обозначает скорость ветра). Дополнительно показан один из использованных снимков, на котором видно, что основные районы данных о ветре соответствуют районам с высокими (белого цвета) облаками.

Несмотря на простоту концепции, весь процесс, с помощью которого рассчитываются ветры и их высоты, требует проведения большого объема расчетов и использования мощной вычислительной системы для выполнения работы в течение приемлемого периода времени. В целях удовлетворения потребностей оперативных потребителей, данные о ветре, как правило, рассчитываются два раза в день и выпускаются в течение, примерно, четырех часов со времени использования первого изображения. Общее число ветров, данные о которых производятся таким образом, изменяется довольно значительно от случая к случаю, находясь каждый раз в сильной зависимости от метеорологической ситуации и распределения облачности. В случае отсутствия облаков данные о ветре получить невозможно. Однако каждый день, как правило, выпускаются данные о 4 000 ветров (т.е. с четырех спутников). Эти данные передаются на международном уровне через метеорологическую Глобальную систему телесвязи и используются большим числом аналитических и прогностических центров мира, помогая определить процессы, происходящие в верхних слоях атмосферы.

Из других видов количественной продукции, получаемой на регулярной основе путем численной обработки данных изображений, наиболее важной, возможно, является температура поверхности моря, хотя перечень важных параметров включает в себя данные о верхней границе облачности, размерах облачного покрова, влажности в верхних слоях атмосферы и некоторые виды специализированной продукции, связанной с приходящей и исходящей радиацией в атмосфере.

Данные о температуре поверхности моря имеют большое значение как в метеорологии, так и в океанографии. Остановимся сначала на метеорологии. Теплообмен между океанами и атмосферой играет ключевую роль в крупномасштабной динамике атмосферы и находится в сильной зависимости от температуры поверхности океана. Температура моря также оказывает большое влияние на погоду в прибрежных районах и на островах, а также на погоду над самим океаном.

Данные изображений спутника METEOSAT, демонстрируемые на телеэкране во время обработки с целью определения верхней границы облачности (слева) и температуры поверхности моря (справа) по данным одного и того же изображения.

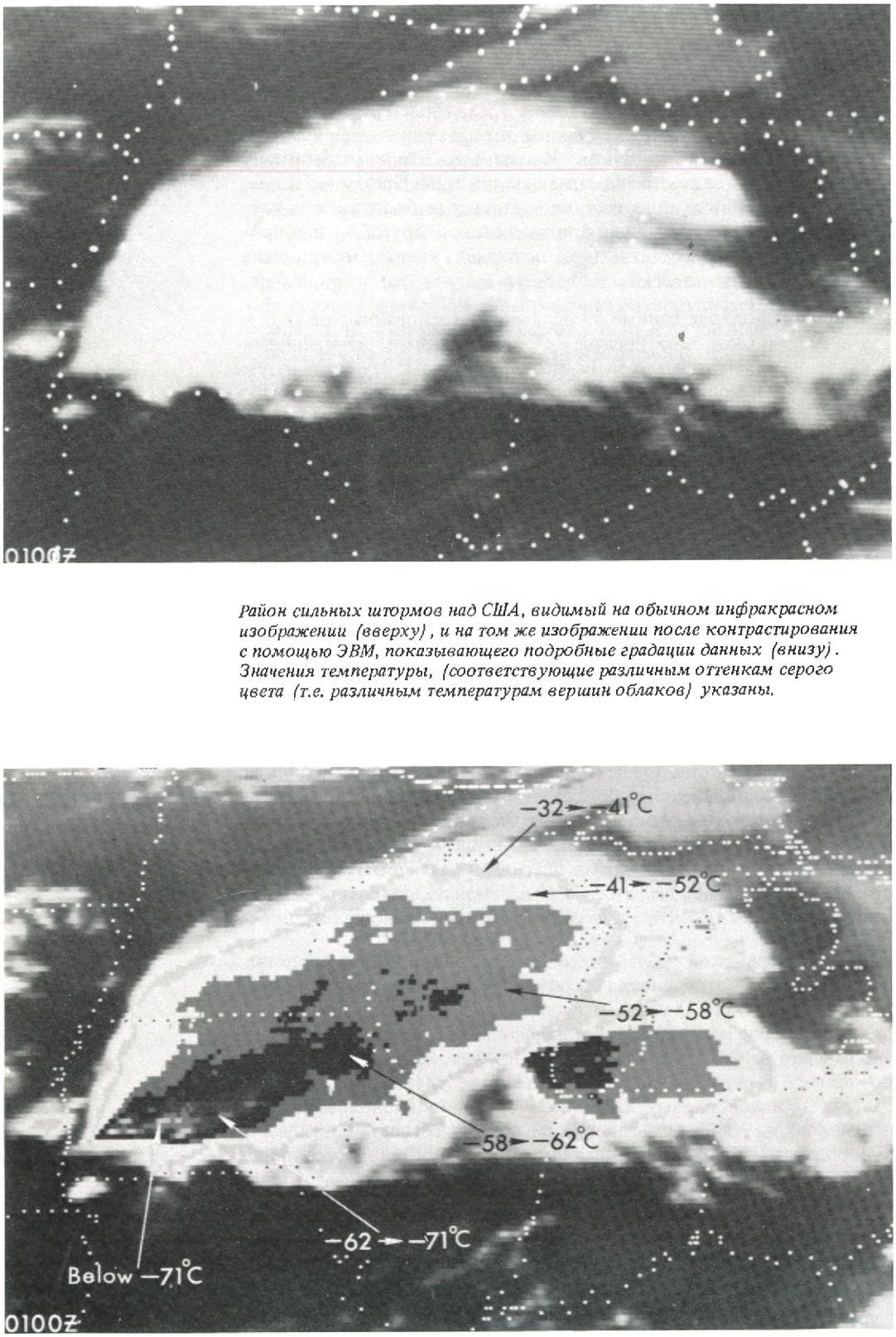


Можно напомнить, что изображения в инфракрасном диапазоне спектра представляют собой очень большое число радиационных измерений (каждое из них составляет очень небольшую часть изображения), которые связаны с температурой предмета (предметов), излучающего радиацию. Во время наблюдения за поверхностью моря с помощью радиометра на борту спутника измеренная таким образом тепловая радиация должна непосредственно обеспечить данные о температуре поверхности моря. Это происходит почти так, но не совсем соответствует действительности. К сожалению, атмосфера не является идеально прозрачной для прохождения тепловой радиации и частично поглощает ее на пути к спутнику. Поэтому требуется внесение небольшой поправки. Вызывающим затруднение фактором является наличие облаков, и требуется предпринятие мер для устранения их влияния. Как и данные о ветре, данные о температуре поверхности моря, предназначенные для оперативного использования, как правило, рассчитываются автоматически с помощью ЭВМ.

Изображения, получаемые как с околополярных, так и геостационарных спутников, используются для производства данных о температуре поверхности моря. Ввиду более низкой высоты и, как правило, более высокой разрешающей способности их инфракрасных изображений, спутники с околополярной орбитой особенно хорошо подходят для выполнения этой задачи, но результаты, получаемые с геостационарных спутников, тем не менее являются довольно приемлемыми. Как правило, достигаемые точности называются в пределах одного или двух градусов Цельсия от истинного значения, хотя часто бывает удивительно трудно точно определить фактическое значение. Это объясняется двумя основными причинами: во-первых, прямое измерение температуры с помощью термометра является весьма локальным по своему характеру по сравнению с дистанционным измерением со спутника, обеспечивающим получение среднего значения над районом площадью, по крайней мере, один километр, а иногда и намного больше. Во-вторых, термометр показывает температуру, являющуюся репрезентативной для поверхностного слоя воды, возможно, глубиной до 1 м, в то время как спутниковый радиометр дает то, что наилучшим образом может быть описано как температура 'кожи' воды, позволяя производить действительно поверхностные измерения, которые временами могут несколько отличаться от данных термометра. Аналогичные виды трудностей возникают довольно часто, когда измерения, произведенные с помощью приборов на спутнике, оцениваются путем сравнения с обычными наблюдениями.

Другие применения в области метеорологии

Спутниковые изображения и данные в настоящее время используются метеорологами настолько различными способами, что их перечисление было бы трудным, вероятно даже невозможным. Многие страны проявляют большую изобретательность в анализе и применении данных, и при том широко распространенном энтузиазме и имеющейся решительности извлечь как можно больше выгод из данных, уверенность в том, что число и диапазон применений спутниковых данных будет продолжать расти, вызывает мало сомнений. В нижеследующих параграфах описываются лишь некоторые применения, которые не упоминались ранее.



Район сильных штормов над США, видимый на обычном инфракрасном изображении (вверху), и на том же изображении после контрастирования с помощью ЭВМ, показывающего подробные градации данных (внизу). Значения температуры, (соответствующие различным оттенкам серого цвета (т.е. различным температурам вершин облаков) указаны.

(a) *Измерение и прогнозирование осадков*

Несмотря на то, что изображения в видимом и инфракрасном диапазонах спектра обеспечивают большой объем информации об облаках, на них непосредственно не видно районов, в которых идет дождь. Ввиду важности осадков, различные группы ученых разработали способы определения на изображениях районов, где происходит выпадение осадков. Кроме того, были разработаны методы оценки количества выпадающих осадков. При этом используются два основных подхода; один из них предназначен в основном для обычного постоянного применения, а другой – для применения в отдельных ситуациях, особенно, когда имеют место сильные локальные штормы.

При первом подходе данные об облачности (основанные на типе и размерах облака) соотносятся с фактическими измерениями осадков на земле, обычно за 12-часовые периоды. Эта связь затем может быть использована применительно к аналогичным данным об облачности без обычных измерений для расчета возможного количества осадков. Полученные таким образом оценки осадков на регулярной основе предоставляются различным международным агентствам для использования в рамках сельскохозяйственных и гидрологических проектов в развивающихся странах, а также как средство оповещения о возможных наводнениях или засухах, требующих предпринятия срочных мер по уменьшению их последствий.

При втором подходе используются взаимосвязи между яркостью изображений и осадками. Один из наиболее успешных методов заключается в получении температур верхней границы облачности с помощью увеличенных инфракрасных изображений и их использовании вместе с подробной информацией о скорости развития облаков и общей вероятности, что из них выпадут осадки. Лежащая в основе этого метода идея заключается в том, что чем выше (и холоднее) верхняя граница облака, тем интенсивнее будут осадки. При этом используются изображения, получаемые с геостационарных спутников с 30-минутными, а иногда и более короткими интервалами. В настоящее время благодаря различным усовершенствованиям с помощью этого метода можно довольно быстро получить удивительно хорошую оценку осадков в районе шторма.

Данные изображений также используются в различных проектах по разработке методов краткосрочных (до, примерно, 6 часов) прогнозов осадков. Основным используемым для этой цели средством является радиолокатор, который может обеспечить прямые наблюдения за интенсивностью осадков и районами их выпадения, но только в ограниченных пределах. В результате объединения данных геостационарных спутников с радиолокационными данными появляется фактическая возможность расширить диапазон проводимых наблюдений за осадками и таким образом расширить район и период времени, за который можно получить точные прогнозы осадков.

(b) *В мониторинге низких температур для сельского хозяйства.*

Сельское хозяйство, являющееся особенно чувствительным к погоде видом деятельности и основным потребителем метеорологического обслуживания во всем мире, извлекает для себя выгоды

благодаря некоторым специализированным применениям спутниковых данных, а также достижениям в области метеорологии более общего характера, которые стали возможны благодаря спутникам. Инфракрасные изображения успешно используются в некоторых районах США и в других странах для осуществления мониторинга особо низких приземных температур и наблюдений за распространением холодной погоды в отдаленных районах, где не проводятся обычные наблюдения за температурой. В качестве конкретного примера можно привести выращивание цитрусовых культур во Флориде, США. Использование инфракрасных изображений, получаемых со спутника GOES с интервалами 30 минут, позволяет производить наблюдения за распространением холодной погоды, обеспечивая фермеров своевременными и точными прогнозами о температуре. Таким образом, они получают оптимальные метеорологические рекомендации о необходимости предпринятия дорогостоящих мер предосторожности с целью предотвратить нанесение ущерба урожаю заморозками и могут свести к минимуму затраты на ненужные меры предосторожности.

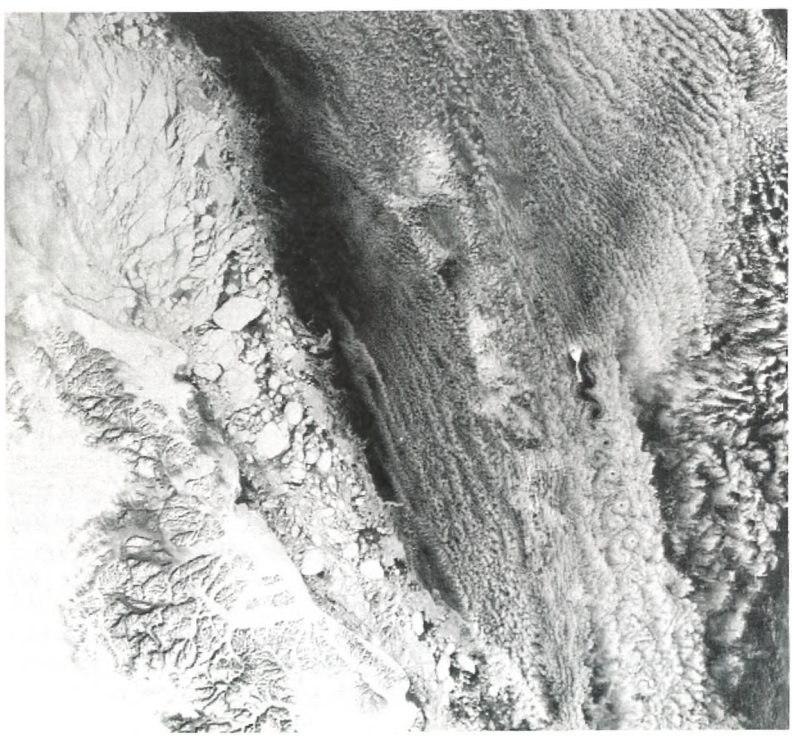
(c) *В рамках деятельности, связанной с мониторингом опасных явлений погоды, и служб оповещения о состоянии окружающей среды.*

Многие метеорологические условия представляют собой опасные явления погоды в том смысле, что они угрожают некоторым видам деятельности человека, его безопасности или собственности. Два примера уже были обсуждены: тропические циклоны и сильные локальные ураганы, во время которых наблюдаются очень сильные осадки, а в случае с циклонами – сильные ветры, действительно представляют собой опасные явления. К другим опасным явлениям относятся торнадо, грозы с выпадением града и интенсивное выпадение снега. В чрезвычайных обстоятельствах, все эти явления могут привести к крупным стихийным бедствиям, вызвав значительное число человеческих жертв или нанесение ущерба имуществу или, возможно, и то и другое. Опасных явлений погоды, которые хотя и не считаются в строгом смысле слова метеорологическими по своему характеру, но тесно связаны с метеорологическими условиями, имеется намного больше. В качестве примеров можно привести распространение в воздухе пыли и осколков скал в результате извержения вулкана (в тех случаях, когда ветер является основным фактором) и размножение саранчи в пустынях (в тех случаях, когда осадки играют важную роль).

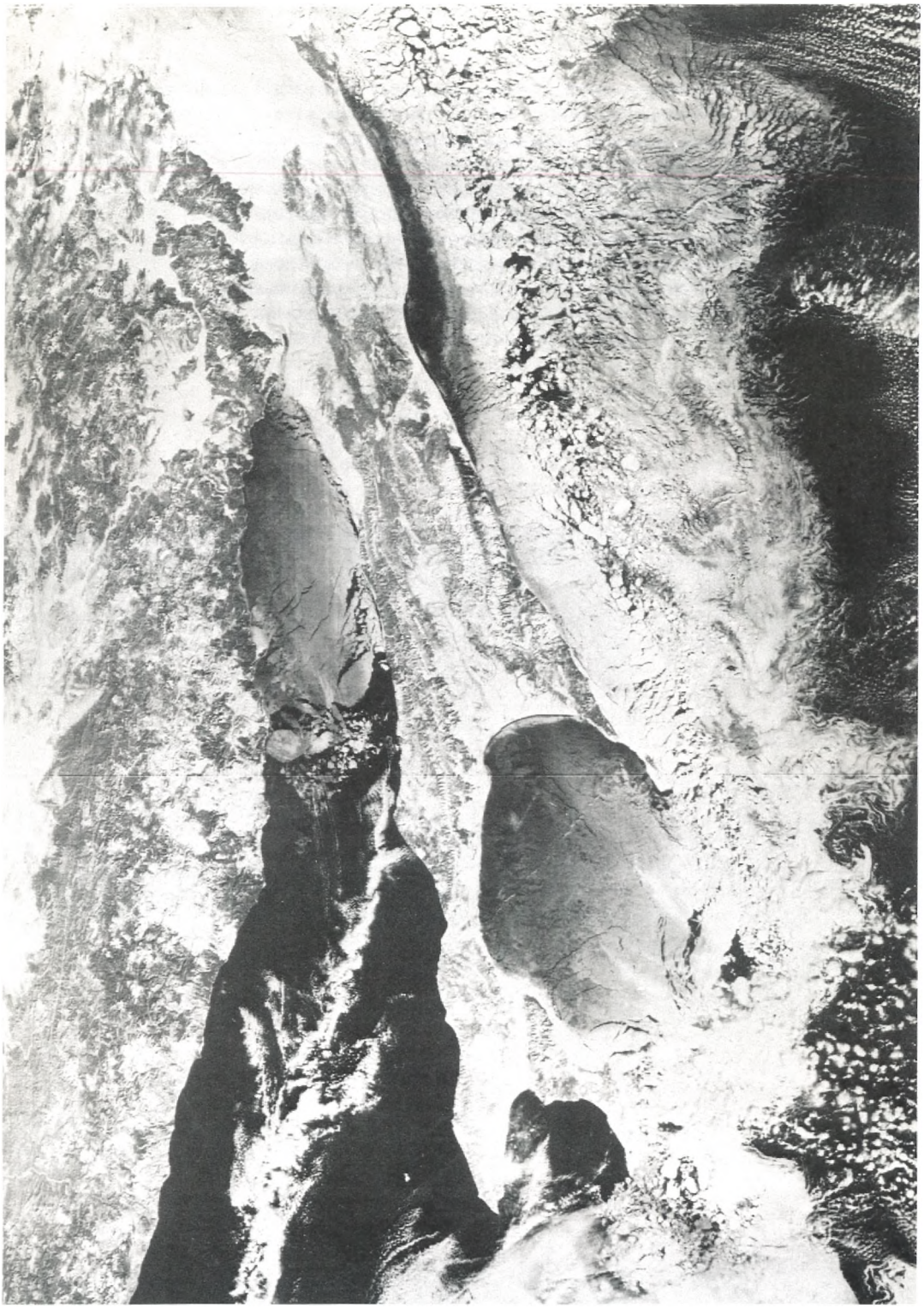
Спутниковые изображения не только непосредственно показывают все эти явления, но в каждом случае на снимке, как правило, будет иметься информация о возможности этого явления, его места и развития, помогая тем, кто должен делать выводы о возможных последствиях. Было продемонстрировано много раз, что благодаря знанию о возможном опасном явлении на ранней стадии, позволяющему быстро выпустить эффективное предупреждение, можно многое сделать для сведения его влияния на население к минимуму. Наблюдения за опасными явлениями погоды в этих областях в некоторых частях мира проводятся на регулярной основе, и можно ожидать, что постепенно они распространятся на другие районы, особенно на районы, находящиеся в зоне наблюдения геостационарных спутников.

(d) *В климатологии.*

Климатология является "областью интенсивного роста" в плане применения спутниковых изображений. Энергия, вызывающая циркуляцию атмосферы и океанов, первоначально исходит от солнца, и для понимания основных характеристик циркуляции атмосферы и океанов, которые в свою очередь определяют климат, необходимо знать как можно больше о том, что происходит с солнечной радиацией по мере ее прохождения через атмосферу Земли, какое количество радиации достигает поверхности Земли, какой объем энергии отражается от системы земля-атмосфера в мировое пространство и т.д. Облака играют весьма важную роль в этих процессах, например, не позволяя некоторой части солнечной радиации достичь поверхности Земли и отражая ее обратно в мировое пространство. Климатологи считают спутниковые изображения неоценимыми в этой области; они используют их для определения площади облачного покрова как в глобальном, так и в региональном масштабах и определения его изменений в различных временных масштабах. Но это ни в коей мере не является единственной информацией, представляющей интерес, которую они получают благодаря спутниковым изображениям. Из изображений в видимом диапазоне спектра можно многое узнать об объеме солнечной энергии, отраженной от различных частей поверхности суши, моря и поверхности облаков, то время как изображения в инфракрасном диапазоне спектра обеспечивают количественные данные об энергии в виде тепловой радиации, отражаемой в мировое пространство Землей и атмосферой. Все эти измерения вместе с измерениями, производимыми с помощью более специализированных приборов на борту спутников, помогают климатологам составить подробное описание того, что они называют "радиационным балансом" Земли,



Отдельные льдины и айсберги вдоль восточного побережья Гренландии, наблюдаемые со спутника TIROS-N. Над морем образовались сложные системы облаков.



Ледовые условия в районе Сахалина в Охотском море в феврале 1981 г., наблюдавшиеся со спутника МЕТЕОР-ПРИРОДА

который явится крупным шагом вперед к лучшему пониманию климата и климатических изменений.

Применения в области океанографии и гидрологии

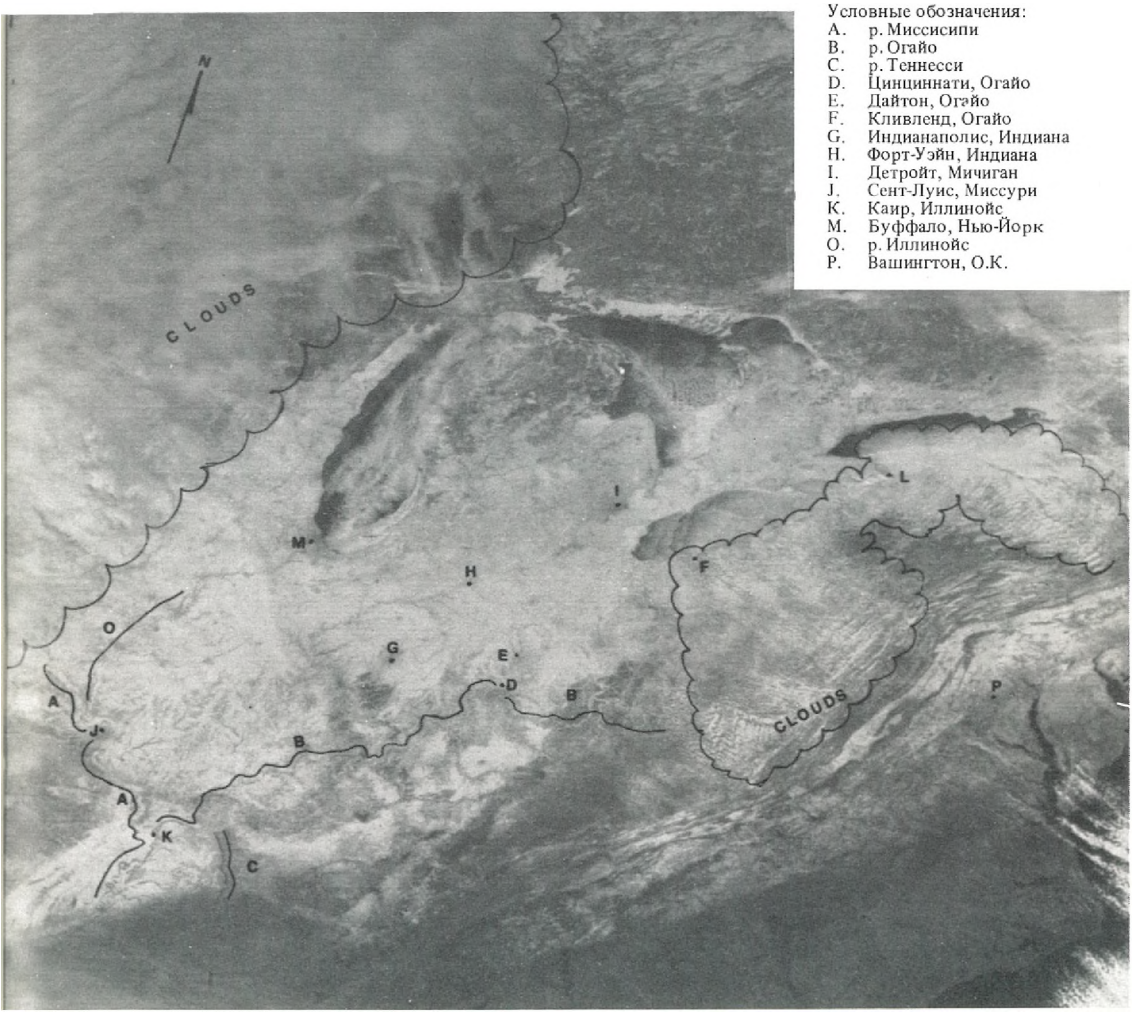
Поверхностные температуры моря, полученные по данным изображений в инфракрасном диапазоне спектра, способ получения которых был уже описан выше, широко используются в океанографии и морской деятельности, а также в метеорологии. Они имеют важное значение для исследований циркуляции океана и энергообмена между океаном и атмосферой. Они являются индикаторами тепловых резервов воды и поэтому играют важное значение в прогнозировании ледовых условий. По градиентам поверхностной температуры моря, получаемым с помощью спутниковых изображений, можно определить местонахождение поверхностных течений в океане и районы подъема глубинных вод. Подъем глубинных вод представляет не только научный интерес; он имеет важное значение для рыболовства, т.к. более холодная вода под поверхностью океана часто является относительно богатой питательными веществами, способствуя таким образом увеличению популяции рыбы. Некоторые другие явления, связанные с поверхностной температурой моря, как например, теплые и холодные вихри, также имеют довольно большое значение для рыбаков. Вихри в океане необязательно являются незначительными краткосрочными явлениями. Они могут простираться на сотни километров в диаметре и продолжаться в течение нескольких месяцев. В число постоянных морских потребителей спутниковых данных о поверхностной температуре моря входят вместе с профессиональными рыбаками большое число организаций, занимающихся вопросами окружающей среды, морские биологи, специалисты по организации отдыха на море, поисково-спасательные подразделения и судоходство.

Другим основным применением спутниковых изображений в океанографии является прямое наблюдение за льдом. Спутники с околополярной орбитой играют более важную роль в этой области, чем геостационарные спутники, частично, разумеется, потому что лед представляет собой в основном явление, характерное для высоких широт, которые близки к пределам возможностей или находятся вне поля зрения геостационарных спутников. Изменение характера и местонахождения льда происходит относительно медленно. Поэтому обеспечение геостационарными спутниками более частых наблюдений дает мало преимуществ. В условиях отсутствия облачности изображения с высоким разрешением дают опытному аналитику большой объем подробной информации о ледовых условиях. Типичное изображение может показать расположение основной границы льда, образование проходов среди льдов, которые могут быть использованы судами, отдельные льдины и большие отдельные айсберги. С помощью снимков можно также определить возраст льда, установить границы между льдами различной сплоченности и определить лед, который начинает таять. Изображения в видимом диапазоне спектра, как правило, обеспечивают наиболее качественные изображения льда, но для получения максимальной информации изображения в видимом и инфракрасном диапазонах спектра используются вместе. Хорошее знание ледовых условий приносит действительно большую пользу при прокладке маршрутов судов (определении оптимально безо-

пасных маршрутов), рыболовной промышленности, деятельности, связанной с исследованиями в прибрежной зоне и бурением дна, а также некоторым видам геолого-разведочной деятельности. Данные о льде также имеют важное значение для исследований климата и его сезонной и долгосрочной изменчивости.

Интересы гидрологов частично совпадают с интересами океанографов, по крайней мере в части, касающейся льда. В гидрологии видимые изображения используются для наблюдений за ледовыми условиями на большом числе озер, водохранилищ и рек. Они оказывают ценную помощь в прогнозировании сроков открытия или закрытия навигации по водным путям под влиянием льда. В некоторых странах спутниковые изображения регулярно используются также для наблюдений за размерами и движением ледников.

Снимок центральной части США, сделанный спутником GOES, во время периода холодной погоды зимой в январе 1977 г. На большей части изображения облачность отсутствует, и светлые оттенки изображают покрытую снегом землю. Такие изображения помогают аналитикам определять не только количество выпавшего снега, но и ледовые условия на Великих озерах и нескольких больших реках.



Условные обозначения:
A. р. Миссисипи
B. р. Огайо
C. р. Теннесси
D. Цинциннати, Огайо
E. Дайтон, Огайо
F. Кливленд, Огайо
G. Индианаполис, Индиана
H. Форт-Уэйн, Индиана
I. Детройт, Мичиган
J. Сент-Луис, Миссури
K. Каир, Иллинойс
M. Буффало, Нью-Йорк
O. р. Иллинойс
P. Вашингтон, О.К.

Спутниковые методы наблюдений за снегом постепенно заменяют другие методы, такие как аэрофотосъемка, и во многих случаях оказываются менее дорогими и более точными. Как и в случае с наблюдениями за льдом, облачный покров, сохраняющийся в течение продолжительного периода времени, может представлять собой проблему, но, если небо является чистым, изображения с высоким разрешением позволяют определять границу снега и дают точную оценку общей площади, покрытой снегом, в речном бассейне или в районе водосбора. Данные о снежном покрове используются вместе с другими данными в прогнозах водных ресурсов и их расхода и находят свое применение в такой деятельности, как управление системами ирригации и планирование гидроэнергетических ресурсов. Для некоторых из этих применений также требуются измерения глубины снега. Они не могут быть получены только по спутниковым изображениям, но яркость снежного покрова на изображениях, как правило, может быть переведена в приемлемые оценки глубины снега, если при этом также имеется несколько приземных наблюдений.

Ряд других применений в гидрологии непосредственно связан с поверхностными водами и стоком – это измерения районов, покрытых открытой водой, наблюдения за наводнениями, определение местонахождения районов, подверженных угрозе наводнений, и в некоторых случаях – оценка глубины воды. С помощью многоспектрального сканирующего устройства на изображениях могут наблюдаться наносы и загрязнение озер, и ввиду того, что большинство видов загрязняющих веществ, попадающих в озера, имеют температуру, отличающуюся от температуры основной массы воды в озере, их температура обычно легко прослеживается также на инфракрасных изображениях.

Содержание влаги в почве является важным фактором в прогнозировании уровня рек, однако ее точное определение над большим районом всегда было трудным, за исключением тех случаев, когда производится большое число измерений в различных пунктах. Спутниковые многоспектральные и инфракрасные изображения в некоторой степени помогли изменить это положение, но ни один из этих видов изображений не является полностью удовлетворительным для этой цели, особенно, когда поверхность земли покрыта сельскохозяйственными культурами или другим растительным покровом, и высококачественные измерения остаются труднодостижимыми.

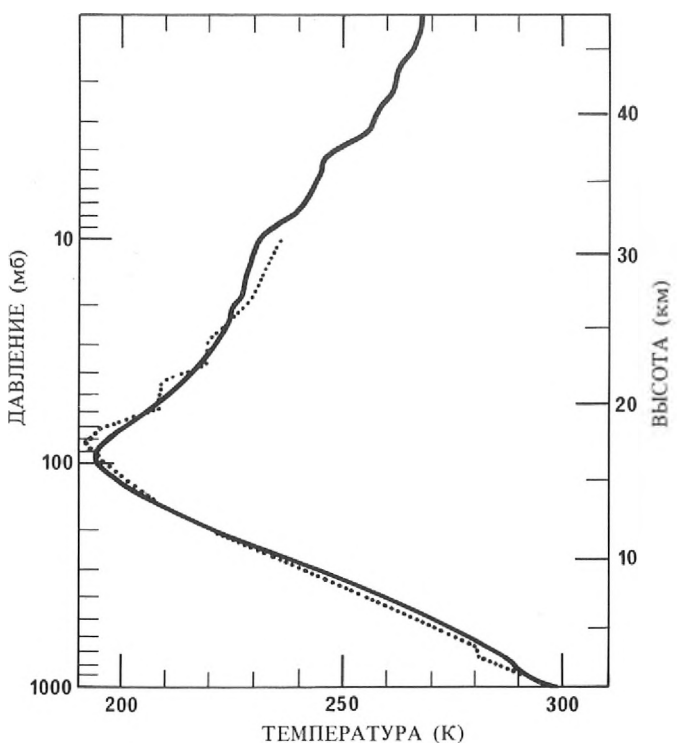
Образец снимка со спутника МЕТЕОР-ПРИРОДА с высоким разрешением, который используется в области гидрологии. Отчетливо выделяющиеся на снимке темные оттенки изображают водохранилища Волго-Камской системы в июне 1980 г. с максимальными запасами воды.

Измерения осадков, разумеется, имеют первостепенное значение в гидрологии, но т.к. они уже были рассмотрены в метеорологическом контексте, дополнительно обсуждаться они не будут.

Зондирование

Данные зондирования температуры и влажности, позволяющие описать каким образом эти параметры изменяются на различных высотах в атмосфере, являются важными основными данными в прогнозах погоды. Без них почти невозможно дать удовлетворительное трехмерное описание состояния атмосферы. Изменения в ее верхних слоях могут происходить довольно быстро. Поэтому данные зондирования необходимы по крайней мере два раза в день над большинством районов земного шара. В течение многих лет зондирование производилось с помощью радиозондов, представляющих собой легкие комплекты приборов, включающие в себя датчики для измерения температуры, влажности и давления, которые поднимались вверх с помощью шаров и передавали свои данные обратно на землю с помощью небольшого радиопередатчика. Основным недостатком этой схемы является очень неравномерное распределение станций радиозондирования в мире и отсутствие информации над океанами.

Первые экспериментальные спутниковые зондирования были произведены со спутников НИМБУС в конце 60-х и начале 70-х годов. Намного более усовершенствованная и сложная система зондирования используется на оперативной основе на всех спутниках серии TIROS-N. Некоторые спутники серии Метеор также производят экспериментальные зондирования. По различным причинам спутники с околополярной орбитой до настоящего времени считались более пригодными платформами для этого типа измерений, чем



Данные первого температурного зондирования, произведенного со спутника (сплошная линия) в сравнении с соответствующими данными зондирования, произведенного с помощью обычного радиозонда (прерывистая линия).

геостационарные спутники, но в конце 1980 г. экспериментальное зондирование начали производить и с них (на GOES-4 и GOES-5).

Спутниковое зондирование производится путем использования радиометра, который измеряет тепловую и микроволновую радиацию в различных диапазонах спектра, проходящую вверх от атмосферы в мировое пространство. Эти невидимые формы радиации характеризуются различными спектральными интервалами также, как и солнечный свет, состоящий из различных цветов и спектральных интервалов. В некоторых отношениях данный метод аналогичен методу, который используется для получения изображений, но между ними имеется существенная разница. Изображения получаются с использованием свойств радиации, проникающей через атмосферу, для которой она является прозрачной. При этом могут быть видны облака и элементы поверхности суши. При зондировании, однако, используются спектральные интервалы, в которых происходит поглощение радиации в различной степени атмосферой. Это позволяет изучать различные слои атмосферы путем проведения измерений радиации в различных спектральных интервалах. Переход от такого рода измерений к температурному зондированию на оперативной основе является трудной задачей и требует сложных расчетов с помощью ЭВМ.

Если, как и в первое время существования этого метода, ограничиться измерением тепловой инфракрасной радиации, возникнут большие трудности при наличии облачности. Радиация через них не проходит, т.к. они эффективно блокируют нижние слои атмосферы, наблюдаемые с помощью зондирующего прибора. Для преодоления этой проблемы были разработаны сложные схемы, но успех был ограниченным. Поэтому в настоящее время имеется тенденция дополнять инфракрасный радиометр радиометром, производящим измерения в микроволновом диапазоне спектра. Микроволны могут свободно проходить через большинство облаков и осадки, за исключением интенсивных осадков, позволяя получать данные зондирования приемлемого качества вне зависимости от условий облачности. В части, касающейся качества, данные спутникового зондирования не могут обеспечить подробностей вертикальной структуры температуры, определяемой с помощью радиозондов, но в других отношениях спутники и радиозонды дают сопоставимые результаты.

Оперативная обработка данных, получаемых с двух спутников TIROS-N ежедневно дает примерно 10 000 профилей температуры и влажности, более или менее равномерно распределенных по земному шару. Эта цифра значительно превышает число проводимых радиозондирований. Тем не менее она составляет лишь часть общего числа данных зондирования, если бы были обработаны все данные, полученные с помощью зондирующих приборов.

Все эти данные зондирования применяются в основном в численных прогнозах погоды. При их составлении используется система автоматических уравнений, обычно называемая 'моделью' атмосферы, которая описывает основные физические и динамические процессы, происходящие в атмосфере. Подробное описание первоначального состояния атмосферы (ветры, температура и т.д.) позволяет затем ввести уравнения в ЭВМ для определения с по-

мощью поэтапного процесса ее состояния на более поздней стадии, возможно, через 24 или 48 часов. Таким образом, модель может использоваться для производства прогнозов о ветрах и температурах в определенное время в будущем.

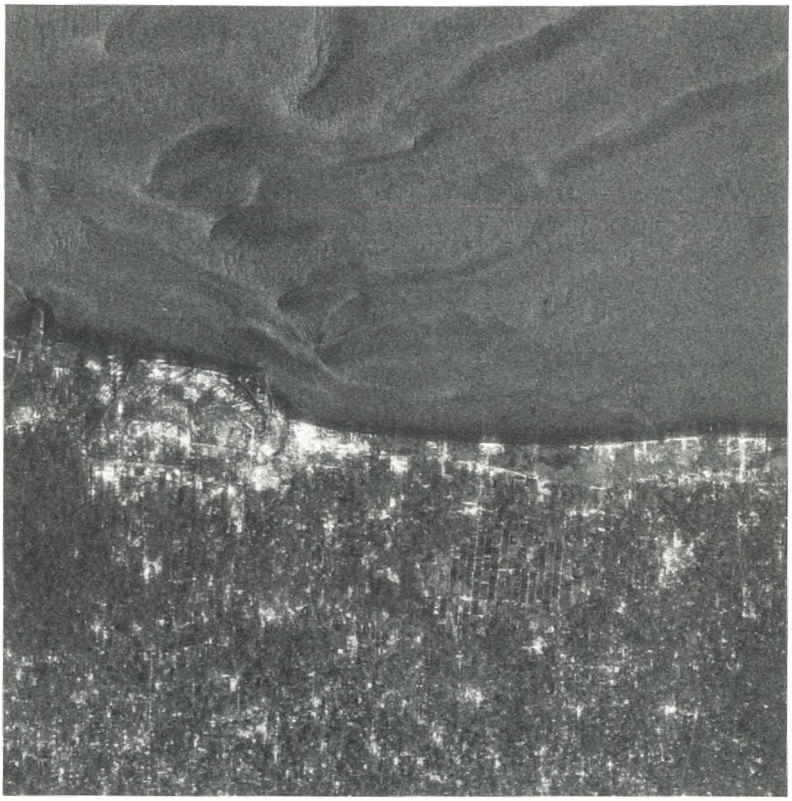
Используемые в настоящее время численные модели достигли высокой степени сложности, в некоторых случаях они охватывают весь земной шар и позволяют выпускать прогнозы на много дней вперед. Однако точность прогнозов все еще в значительной степени зависит от правильных спецификаций первоначальных условий. Данные зондирования со спутников стали неотъемлемой частью основной массы данных, и поэтому вносят крупный вклад в повышение качества прогнозов, которые используются во многих видах деятельности нашего общества.

Во избежание недоразумения следует четко отметить, что данные зондирования не являются единственной спутниковой продукцией, используемой вместе с обычными наблюдениями в численных моделях. Довольно широко используются данные о ветре и поверхностной температуре моря, и иногда в численные модели вводится некоторая другая количественная продукция, такая как данные о влажности в верхних слоях атмосферы, получаемые с помощью наблюдений со спутника Метеосат.

Данные зондирования температуры и влажности могут иметь ценное значение не только в исследованиях и прогнозировании некоторых мелкомасштабных систем в атмосфере (районы с проходящими в них грозами), но и в глобальных моделях и исследованиях крупных погодных систем. Для этой цели в основном используется экспериментальное зондирующее устройство на борту GOES-4 и GOES-5. Оно позволяет производить зондирование с горизонтальным разделением 30 км или меньшеи над районом, ограниченным по своему размеру, но более, чем достаточным для включения крупной грозовой системы и может повторять наблюдения каждые несколько минут. Раньше эта возможность не существовала. На ее надлежащую оценку уйдет некоторое время, но имеются надежды, что в соответствующее время это устройство станет ценным прибором для прогнозирования развития сильных штормов и других метеорологических явлений, являющихся довольно локальными по своему характеру.

Измерения параметров поверхности океана

В последние несколько лет вопросам дистанционного зондирования поверхности океана с использованием спутников уделялось значительное внимание, стимулированное, несомненно, все более широким мнением о том, что океаны представляют собой огромные естественные ресурсы, от которых человек будет находиться во все большей зависимости в будущие годы. Микроволновая технология является основным средством в этой деятельности, и как показал полет спутника SEASAT, она может применяться для повышения безопасности и эффективности большого числа видов морской деятельности, включая перевозки, прибрежные исследования и добычу полезных ископаемых, а также защиту и развитие прибрежной зоны.



Часть побережья в северо-восточной части Франции, увиденная с помощью радиолокатора (комплексный апертурный радиолокатор), установленного на спутнике SEASAT. Более крупные структуры на поверхности моря указывают на наличие отмелей под водой.

Направление ветра у поверхности моря может быть определено со спутника с помощью прибора для микроволновых измерений, называемого скатерометром. Фактически он производит измерения мелкой зыби, появляющейся на поверхности воды под влиянием ветра и накладываемой на волны и волнение. Данные о ветре, полученные с помощью катерометра, несколько отличаются от данных обычных измерений ветра, т.к. они представляют собой средние значения ветра над районами, которые обычно составляют 50 км по площади, а также ввиду того, что на настоящей стадии развития направление ветра не может быть определено одним методом. Для правильной интерпретации данных скатерометра, как правило, необходимо заранее знать приблизительное направление ветра. Тем не менее, результаты, полученные в рамках эксперимента SEASAT, говорят о том, что наличие на регулярной основе данных о ветре, полученных с помощью скатерометра, над районами океана, по которым другие данные отсутствуют, будет иметь большое оперативное значение и даст значительный экономический эффект.

Измерения средней высоты волн могут производиться с высокой степенью точности с помощью радиолокационного альтиметра на борту спутника с околополярной орбитой. С помощью этого типа прибора может наблюдаться лишь довольно узкая полоса поверхности океана непосредственно под спутником. На последовательных изображениях эти полосы разделены примерно 2 000 км в средних широтах, и этот фрагментарный охват ограничивает опе-

ративную полезность наблюдений. Однако альтиметр имеет и другую функцию – производить измерения топографии поверхности океана. Незначительные изменения уровня поверхности океана могут быть связаны с рельефом морского дна, течениями в океане, штормовыми нагонами или влиянием приливов. Альтиметр на борту спутника, производящий очень точные измерения вертикального расстояния от спутника до поверхности океана, может таким образом обеспечить океанографов полезными данными об этих элементах и явлениях. Ниже приводятся два примера измерений, произведенных с помощью спутника SEASAT: теплое течение Гольфстрим у восточного побережья Северной Америки было обнаружено по уклону поверхности, немногим более одного метра на протяжении 25 км, а впадина Пуэрто-Рико, являющаяся крупной впадиной в морском дне, показала 15-метровое понижение поверхности океана на расстоянии, примерно, 850 км.

Радиолокационная система на борту спутника SEASAT – ее правильное техническое название комбинированный апертурный радиолокатор – могла обеспечивать изображения поверхности океана с весьма высоким разрешением, подробно описывающие структуру волн и льда. Некоторые из изображений содержали настолько подробную информацию, что по вопросу их правильной интерпретации имели место значительные дискуссии. Но эксперты смогли получить информацию о волнах, зыби, шероховатости поверхности моря, пятнах (как естественных так и искусственных), процессах в прибрежной зоне и возрасте льда.

Другой прибор, с помощью которого производятся наблюдения за поверхностью моря, сканирующее устройство для получения цветных изображений прибрежной зоны на Нимбус-7, обеспечивает данные о солености, распределении наносов и концентрации хлорофилла в воде. Последний параметр может звучать довольно неясно, но он имеет важное значение для специалистов, занимающихся вопросами экологии океанов, т.к. концентрация хлорофилла является индикатором количества планктона в воде и может иметь практическое применение для рыболовной промышленности.

Сбор и ретрансляция данных

Ценность спутников в метеорологии и прикладных областях значительно увеличивается благодаря их способности производить сбор данных. Ежедневно с помощью платформ для сбора данных, расположенных по всему земному шару, собирается большой объем наблюдений об окружающей среде, которые быстро ретранслируются через спутники потребителям. В некоторых случаях данные, возможно, можно было бы передавать по другим каналам, хотя и более медленным; в других случаях, если бы не было спутниковой связи, они не достигли бы своего назначения для оперативного использования.

ПСД является просто автоматическим устройством для произведения измерений с радиопередатчиком для обеспечения связи со спутником. Размеры и типы ПСД значительно отличаются друг от друга, но как правило, помимо небольшой антенны, которая является необходимой, их размеры не превышают средней величины чемодана, а вес составляет не более 20 кг. Имеется три основных типа платформ: 'запрограммированные', 'опрашиваемые' и 'оповещения'. Четвертый тип платформ "выборочного действия" добавляется для использования на борту спутников GOES.

Запрограммированные платформы для сбора данных производят и передают наблюдения в установленные, заранее определенные сроки. Передачи осуществляются не обязательно каждый раз после проведения наблюдений. Например, если наблюдения производятся каждые 10 минут, они вначале могут храниться, а затем передаваться каждый час партиями по шесть наблюдений. Опрашиваемые платформы называются так, потому что они производят измерения и передают данные только по получении команды, направленной через спутник с наземной станции управления. Платформы оповещения производят частые наблюдения, но передают данные только в случае превышения заранее определенного порога, например, когда уровень реки начинает превышать какое-то определенное значение. Платформы выборочного действия производят частые наблюдения и передают данные без точного графика, являющегося отличительной чертой запрограммированных систем. В каждом случае данные, получаемые наземной станцией приема спутниковых данных, немедленно передаются операторам платформы или с их согласия-другим потребителям.

До ввода ПСД в эксплуатацию она должна пройти жесткие аттестационные испытания и некоторые процедуры в связи с вводом в эксплуатацию. Аттестационные испытания должны продемонстрировать, что платформа будет удовлетворительно функционировать в рамках общей системы и (что очень важно) ее радиопередатчик не будет мешать другим потребителям, даже в экстремальных условиях. Процедуры допуска к эксплуатации касаются в основном таким подробностей ежедневного функционирования, как опознавательный адрес и радиочастота передачи данных, а также организация обработки и распределения данных.

Средства для сбора данных имеются как на борту геостационарных, так и околополярных спутников. Ввиду того, что геостационарные спутники могут поддерживать постоянный контакт со всеми платформами в охватываемой ими зоне, одновременно обеспечивая с помощью упоминавшейся ранее схемы координации деятельности, связанной с геостационарными спутниками, охват, приближающийся к глобальному, они производят сбор данных со всех платформ оповещения и ретранслируют основную массу данных с ПСД. Однако в отличие от спутников с околополярной орбитой у них не имеется средств для определения местоположения платформы. Любая подвижная ПСД, которая не может сообщить свои координаты, как например, океанографический буй, находящийся в свободном дрейфе, должна, поэтому, действовать через спутник с околополярной орбитой, оснащенный пригодным оборудованием. Система АРГОС для сбора данных и определения местоположения

платформы на спутниках серии TIROS-N предназначена именно для этой цели. Она может определить местоположение платформы с точностью до одного или двух километров и получать данные с 200 платформ одновременно. В глобальном масштабе она может обеспечить прием данных с 3 000 платформ. Если платформа является дрейфующим буем или шаром, его координаты, определяемые через какие-то интервалы с помощью устройства для определения местоположения платформы, могут использоваться для определения течений в океане или ветра.

Несколько примеров различных применений ПСД могут помочь оценить их пользу.

(i) Стандартные метеорологические наблюдения.
Ряд ПСД устанавливается в удаленных районах земного шара и действует вместе с автоматическими метеорологическими станциями, регулярно передавая сводки об атмосферном давлении, температуре, влажности, скорости и направлении ветра и, возможно, нескольких других параметров. Большая часть метеорологических данных, получаемых с ПСД, предоставляется метеорологическому сообществу через Глобальную систему телесвязи Всемирной Метеорологической Организации для использования в анализах и прогнозах погоды во многих странах. ПСД и связанное с ними вспомогательное оборудование, могут функционировать автоматически без участия человека в течение нескольких месяцев, даже в суровых климатических условиях. Они имеют неоценимое значение для обеспечения регулярной информации из мест, где постоянное присутствие человека было бы очень трудным и дорогостоящим.

(ii) Наблюдение за состоянием моря.
Различные организации, занимающиеся морскими операциями, используют ПСД, установленные на заякоренных буях в море с целью получения последней информации об условиях в море: высоте и частоте волн и температуре моря. Некоторые ПСД также передают данные метеорологических наблюдений, упомянутые в предыдущем параграфе. Информация о состоянии моря может быть использована при подготовке прогнозов состояния моря, для сбора статистических данных о частоте различных условий, оказания помощи деятельности, связанной с рыболовством и научными исследованиями, морскими перевозками и обеспечения основы для принятия решений по вопросам, связанным с охраной окружающей среды.

(iii) Ретрансляция данных с самолета на спутник (ASDAR)
Эта система является примером использования подвижных ПСД. Небольшое число широкофюзеляжных коммерческих самолетов, выполняющих полеты по маршрутам на большие расстояния, было оборудовано специально разработанными ПСД. Они передают подробную информацию о координатах самолета, высоте полета, температуре воздуха, скорости и направлении ветра по данным навигационной системы самолета каждые семь с половиной минут, хранят эти данные в памяти и каждый час передают последние восемь сводок. После передачи на землю они предоставляются всем метеорологическим органам, занимающимся прогнозами для

авиации. Первые испытания системы на глобальной основе в течение 1979 г. были весьма успешными и, возможно, в следующие несколько лет число самолетов, имеющих на борту систему типа ASDAR постепенно увеличится.

(iv) Гидрологический мониторинг

ПСД используется органами, занимающимися вопросами управления водных ресурсов в различных странах, для получения информации об уровне рек, скорости течения рек, количестве осадков и т.д. Точные процедуры отличаются друг от друга, но во многих случаях наблюдения передаются на спутник один или два раза в день. Эта частота передачи данных является достаточной в большинстве случаев, но иногда условия быстро изменяются, требуя быстрой реакции со стороны потребителя. С тем, чтобы предусмотреть эту возможность платформы функционируют также в режиме оповещения и немедленно передают предупреждения в случае превышения заранее установленного порога.

Спутники в программах ВМО

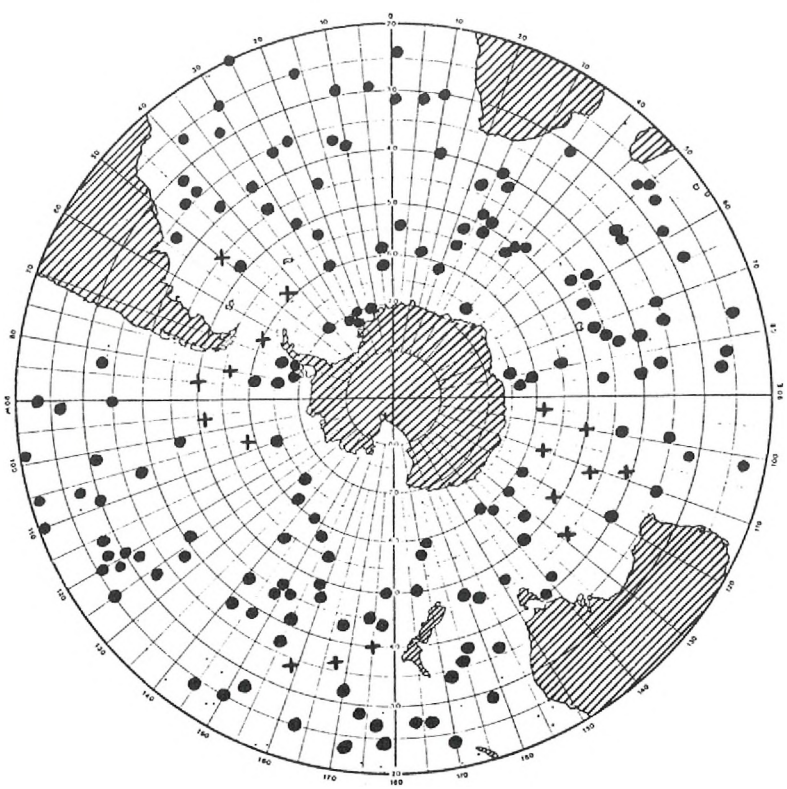
Метеорология, гидрология и океанография являются областями, в которых многое может быть достигнуто благодаря международному сотрудничеству, т.к. атмосфера и океаны являются глобальными системами, не знающими национальных границ. В рамках деятельности Всемирной Метеорологической Организации и по линии ее различных программ и проектов, эксперты многих стран работают вместе для получения взаимных выгод и, что является более важным, принося в конечном итоге пользу всему мировому сообществу. Спутники играют важную роль в большом числе программ, но в настоящем документе мы можем упомянуть только небольшое число программ.

Основной программой ВМО, от которой зависят почти все другие программы, является так называемая Всемирная служба погоды (ВСП). Начатая в 1968 г., эта программа направлена на постепенное улучшение глобальной сети метеорологических наблюдений и средств, предназначенных для обработки и распространения данных наблюдений. В рамках этой программы предпринимаются усилия, направленные на предоставление каждому Члену ВМО всей информации, которая ему необходима для обеспечения максимально эффективного метеорологического обслуживания. Спутники фактически в какой-то мере стимулировали ВСП на ранней стадии; эта программа была задумана вскоре после появления спутников в ответ на резолюцию Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций, призвавшей ВМО максимально использовать новую технологию для улучшения основных знаний об атмосфере, применяя эти знания на благо всех народов.

После 1968 г. спутники играют все возрастающую роль во Всемирной службе погоды и в настоящее время являются ядром Глобальной наблюдательной системы. План ВСП периодически пересматри-

вается и обновляется по мере возникновения новых потребностей и технических достижений. Последний план ВСП предусматривает постоянную работу двух систем, состоящих из спутников с околополярной орбитой и минимум пяти геостационарных спутников. Странами-операторами спутников является относительно небольшое число Членов ВМО, но все данные их наблюдений (как в графической форме, так и количественные) на регулярной основе предоставляются всем Членам.

С ВСП тесно связана Программа исследований глобальных атмосферных процессов (ПИГАП), осуществляемая совместно ВМО и Международным советом научных союзов (МСНС). В рамках деятельности ПИГАП выполняется большое число исследований – как экспериментальных, так и теоретических. Наиболее важным из них является Глобальный метеорологический эксперимент, направленный на решение некоторых фундаментальных проблем, связанных с прогнозами погоды и определением оптимальных наблюдательных систем, необходимых для удовлетворения будущих потребностей. Наиболее важной частью эксперимента была 12-ти месячная "наблюдательная фаза" (декабрь 1978 г. – ноябрь 1979 г.), проводившаяся по весьма сложной и интенсивной глобальной программе наблюдений за атмосферой, которая когда-либо осуществлялась. Эта программа основывалась, главным образом, на Всемирной службе погоды, но дополнялась рядом специальных систем и методов, особенно в районах мира, которые обычно считаются плохо освещенными данными приземных наблюдений.



Распределение оснащенных приборами дрейфующих буев в южных морях по состоянию на 10 мая 1979 г. Позиции, отмеченные крестиком, означают буи, которые были сброшены с борта самолета в мае 1979 г. для улучшения охвата.

Все операторы спутников предпринимают энергичные усилия, направленные на максимальное использование возможностей спутников. Почти глобальный охват пятью геостационарными спутниками был достигнут впервые до начала проведения интенсивных наблюдений, первый спутник с околополярной орбитой серии TIROS-N был запущен своевременно и использовался во время проведения эксперимента. Большое внимание было уделено наблюдениям за погодой в тропиках, и здесь геостационарные спутники внесли весьма важный вклад путем ежедневного получения в среднем от двух тысяч до трех тысяч наблюдений за ветром только в тропиках. Три системы, специально разработанные для эксперимента, предусматривали сбор данных с помощью спутников. Одной из них была система ASDAR, описанная выше, передававшая метеорологические данные с коммерческих самолетов на наземные станции через геостационарные спутники. Две другие системы использовали устройство АРГОС для сбора данных и определения места нахождения платформ на борту спутников серии TIROS-N. Ими были: система дрейфующих буев в Южном полушарии и система шаров постоянного уровня в тропиках.

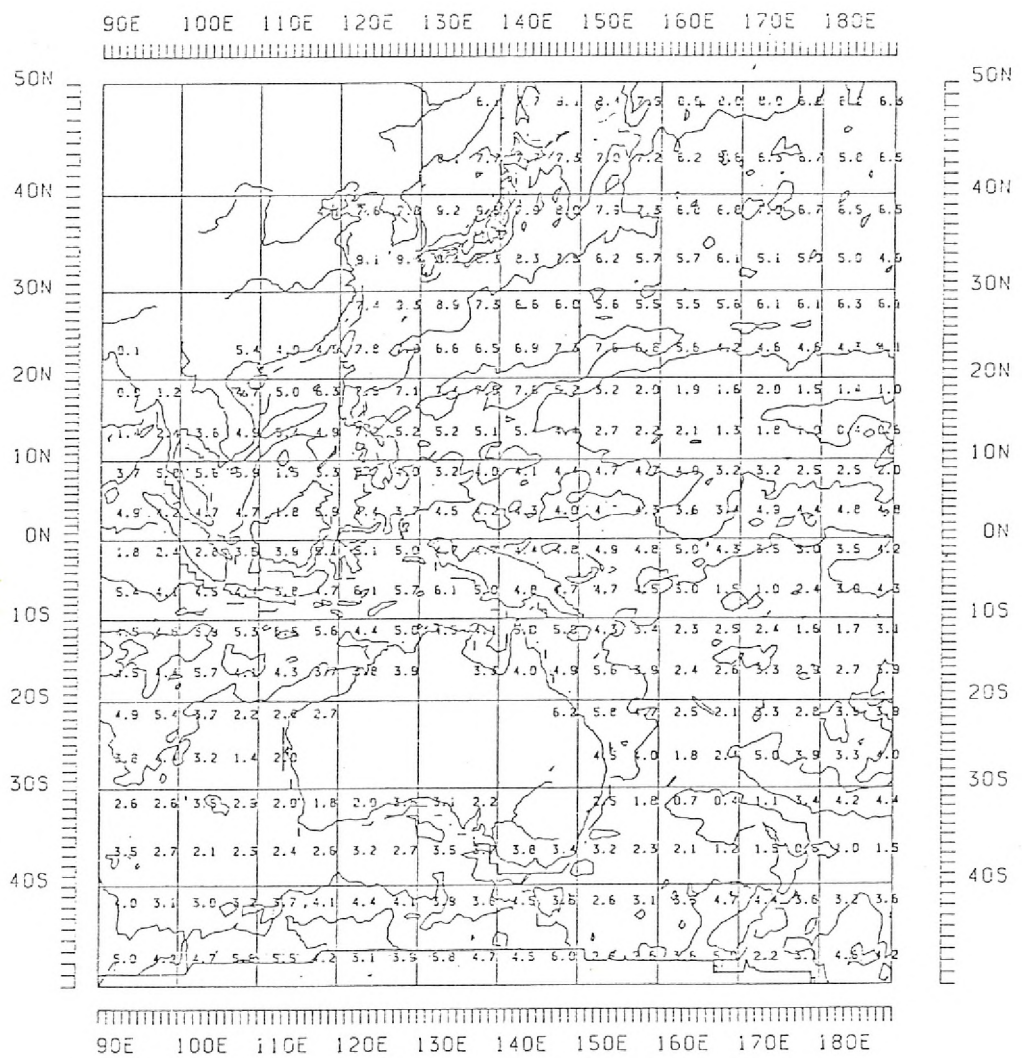
Свыше 300 буев, предоставленных несколькими странами, были оборудованы как ПСД и размещены в океанах Южного полушария, где находились в свободном дрейфе. С помощью этих буев производились измерения различных основных метеорологических параметров, включая атмосферное давление. Их регулярные передачи данных принимались и ретранслировались системой АРГОС, с помощью которой также определялось их местонахождение. Система работала чрезвычайно хорошо; она позволила многое узнать о погодных системах Южного полушария и непосредственно улучшить численные прогнозы над многими частями этого полушария. Шары постоянного уровня использовались, как дополнительный источник получения данных о ветре в верхних слоях атмосферы в тропиках. После запуска они поднимались на высоту порядка 14 км и затем находились в дрейфе под влиянием ветра. На каждом из них был установлен небольшой радиопередатчик для прослеживания с помощью системы АРГОС; скорость и направление ветра определялись путем сравнения последовательных позиций. С учетом того, что эти специальные применения дополняли оперативное производство изображений и получение профилей температуры и влажности, можно сделать вывод о значительности общего вклада спутников в Глобальный метеорологический эксперимент.

Всемирная климатическая программа является одной из основных программ ВМО. Она является чрезвычайно широкой по своим масштабам, предусматривая научные исследования климатообразующих механизмов, сбор многих видов климатологических данных, применение знаний о климате и исследования влияния климата на деятельность человека. Хотя ВМО играет в осуществлении этой программы ведущую роль, в ней принимают активное участие большое число других международных организаций. Подробные потребности в данных все еще находятся в стадии разработки, но, несомненно, что спутники и в этом случае будут играть ключевую роль при сборе огромных объемов метеорологических, океанографических и гидрологических данных. Данные их

измерений о приходящей солнечной радиации, радиационном балансе Земли, снежном и ледовом покрове, поверхностной температуре моря и снежном покрове, имеют самое непосредственное отношение к весьма сложным и трудным проблемам климата и климатических изменений.

Одна из программ – Программа применения знаний о климате конкретно связана с применением метеорологии в других областях и видах деятельности. К ним относятся сельское хозяйство, авиация, загрязнение атмосферы и морской среды, энергетические проблемы, городское и региональное планирование землепользования, поселения человека, инженерные работы и строительство, а также здоровье и благосостояние человека. Эти области являются

Средние значения низкой облачности в течение 5-дневного периода (1-5 января 1981 г.), определенные с помощью изображений, полученных с японского геостационарного метеорологического спутника. Такие карты выпускаются на регулярной основе каждые 5 дней. В основном они используются в климатологических исследованиях.



наиболее важными. Не вдаваясь в подробности (хотя несколько примеров было приведено на предыдущих страницах), можно сказать, что спутниковые данные широко используются во многих видах осуществляемой деятельности. Таким образом, они играют важную роль в решении некоторых важных социально-экономических проблем современности, а также чисто научных проблем.

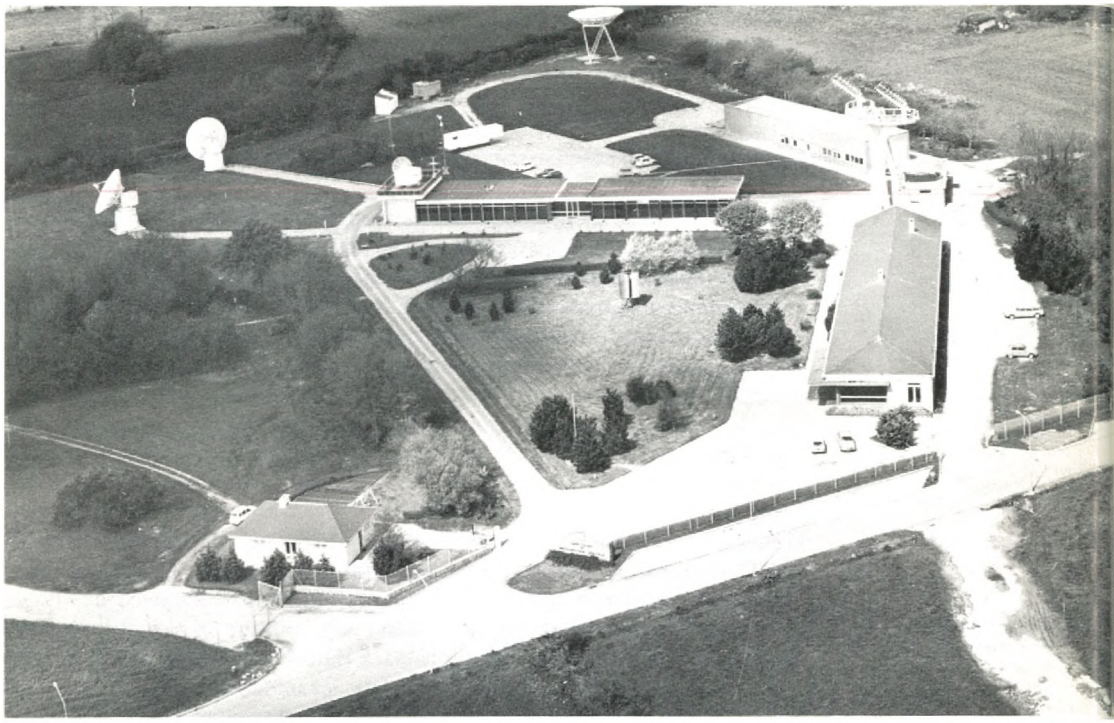
ВМО и Межправительственная океанографическая комиссия. сотрудничают в разработке оперативной программы для обеспечения информации о состоянии океанов. Она называется ОГСОО — Объединенная глобальная система океанского обслуживания. Мониторинг океанов из космоса является частью наблюдательного компонента ОГСОО, значение которого, несомненно, будет со временем возрастать. ВМО также осуществляет программу по оперативной гидрологии, в рамках которой возрастающий вклад спутников получает широкое практическое применение во многих странах мира.

Наконец, не меньшее значение имеют программы, в рамках которых ВМО оказывает помощь развивающимся странам. Основной программой является Программа технического сотрудничества, главными источниками финансирования которой является Программа развития Организации Объединенных Наций (ПРООН) и добровольные взносы Членов ВМО. Помощь развивающимся странам в деятельности, связанной со спутниками, оказывается различными способами. Они предусматривают поставку и монтаж устройств для приема спутниковых данных, учебные курсы и семинары по использованию и интерпретации спутниковых данных, предоставление стипендий и краткосрочные командирования экспертов. При наличии больших ресурсов всегда можно сделать больше, но в последние годы эта деятельность помогла распространить преимущества спутников среди более широких слоев метеорологического сообщества, которые, в противном случае, не пользовались бы этими преимуществами.

Будущая деятельность

За последние двадцать лет в области спутниковой метеорологии был достигнут значительный прогресс. Будет ли он таким же значительным в следующие двадцать лет — неизвестно, но некоторые довольно четкие тенденции очевидны.

Предполагается, что комбинация околополярных и геостационарных спутников будет использоваться для оперативных целей в течение ряда будущих лет, но значение последних еще более возрастет. Метеорологические службы в тропиках и среднеширотных регионах будут находиться во все более возрастающей зависимости от их данных, и их роль в поддержке служб оповещения о состоянии окружающей среды, особенно служб оповещения об опасных явлениях погоды, несомненно, возрастет. Для некоторых видов научных исследований и экспериментальных спутников,



Станция приема данных с метеорологических спутников в космическом метеорологическом центре, Ланион Франция

особенно в связи с климатическим мониторингом, потребуются другие типы орбит.

Несколько стран планируют использовать спутники, предназначенные для океанографических наблюдений, и имеются надежды, что по крайней мере один спутник будет выведен на орбиту до конца 1980-х годов. Эти спутники будут использоваться для получения океанографической и метеорологической информации в поддержку экономически важных повседневных операций в море, для сбора данных в целях планирования использования океанов и для океанографических научных исследований.

Имеющиеся датчики и методы пройдут стадию постепенного усовершенствования, которая позволит соответственно улучшить качество данных. Будут внедрены новые датчики и методы. Среди новых датчиков, находящихся в начальной стадии разработки, имеется лазерное устройство для определения ветра в атмосфере путем наблюдения за движением частиц пыли и небольших капель воды в воздухе. Ведутся также работы по определению возможности использовать на борту спутников микроволновое устройство для измерения атмосферного давления у поверхности Земли. В случае успешной разработки эти устройства окажут большое влияние на прогнозы погоды. Для зондирования океана и характеристик поверхности суши будет внедрено большое число микроволновых методов. Возможно на оперативной основе будут использоваться методы для получения панорамных изображений с целью определения верхней границы облачности. Эти методы предусматривают функционирование двух близко расположенных друг от друга геостационарных спутников с синхронизированным

обзором, ведущих одновременные наблюдения за одним и тем же облаком, позволяя рассчитать его высоту геометрическим путем. Системы для сбора данных будут более эффективными. Предусматривается резкое увеличение числа платформ для сбора данных для оперативного использования.

Спутниковая связь будет все более широко использоваться для ретрансляции и распространения всех типов оперативной метеорологической информации, позволяя свести к минимуму задержки с ее передачей и способствуя более широкому распространению информации. В случае необходимости будут разработаны системы передачи данных со спутника на спутник. Например, данные с некоторых спутников с околополярной орбитой могут на регулярной основе передаваться на землю через геостационарные спутники, ускоряя передачу потока данных и позволяя разработать единые системы связи и обработки данных.

На предыдущих страницах было мало сказано о системах обработки данных, но они имеют такое же важное значение, как и другие компоненты общей спутниковой системы наблюдений. Спутники могут производить огромные объемы данных в течение короткого периода времени и, если данные не подвергаются быстрой и эффективной обработке с тем, чтобы обеспечить потребителя тем, что ему нужно и в той форме, в которой ему требуются данные, они используются неполностью. В течение следующих нескольких лет, несомненно, будут иметь место большие достижения в области методов обработки данных с уделением большого внимания усовершенствованным интерактивным системам, в которых автоматическая обработка данных может подвергаться воздействию на различных стадиях со стороны человека. Новые системы будут разработаны для эффективного хранения все возрастающих объемов данных с тем, чтобы они всегда были в наличии для любых научных целей.

На основании того, что было сказано в данной брошюре, было бы неправильным сделать вывод о том, что спутники в скором времени смогут обеспечивать все данные наблюдений, которые требуются для метеорологов и океанографов. Имеется ряд параметров, которые спутники, возможно, никогда не смогут измерять удовлетворительно. Спутниковые наблюдения начинают заменять ряд видов обычных наблюдений, и эта тенденция будет продолжаться, но в большинстве случаев будет иметься постоянная потребность как в спутниковых, так и в обычных наблюдениях.

Спутниковые системы являются непревзойденным средством для проведения глобальных наблюдений атмосферы и океанов. По мере их дальнейшего развития в будущие годы они не только ускорят развитие наших основных знаний о планете, на которой мы живем, хотя это и имеет важное значение. Прежде всего, они будут вносить все возрастающий и незаменимый вклад в улучшение прогнозов погоды и всех других видов обслуживания, которые метеорологи, океанографы и гидрологи пытаются совместно обеспечить на благо всего человечества.

Некоторые другие публикации ВМО, касающиеся спутников и их применения

WMO-No. 333 The use of satellite pictures in weather analysis and forecasting (Edited by R.K. Anderson and N.F. Veltishchev).

WMO-No. 411 Information on meteorological satellite programmes operated by Members and organization.

WMO-No. 413 Applications of satellite data to aeronautical meteorology (By F.G. Finger and R.M. McInturff) (тираж разошелся)

WMO-No. 473 The of satellite imagery in tropical cyclone analysis.

WMO-No. 494 Роль спутников в программах ВМО в восьмидесятые годы. (Д.С. Джонсон и И.П. Ветлов).

WMO-No. 531 Quantitative meteorological data from satellites (Edited by J.S. Winston).

Секретариат Всемирной Метеорологической Организации Женева 1982 г.

ВСЕМИРНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ