

А.М. Яковлев

**Авиационная
метеорология**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 030
ББК 92
А11

А11 **А.М. Яковлев**
Авиационная метеорология / А.М. Яковлев – М.: Книга по Требованию, 2023. –
248 с.

ISBN 978-5-458-31617-0

Учебник предназначен для курсантов летных училищ гражданской авиации.

ISBN 978-5-458-31617-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

логическая наука в России имела достаточную базу для обеспечения полетов. Было в наличии необходимое приборное, хотя и не совсем совершенное оборудование. На территории России действовала сеть метеорологических станций, обеспечивающая необходимую для полетов того времени метеорологическую информацию. Составлялись карты погоды, позволяющие предвидеть погоду на некоторый срок вперед.

Большой скачок в развитии метеорологии в нашей стране произошел после Великой Октябрьской социалистической революции. В июне 1921 г. В. И. Лениным был подписан Декрет об организации государственной метеорологической службы. Этот декрет открыл широкие возможности роста, оснащения приборами и средствами связи сети метеостанций; дал толчок подготовке кадров и развитию метеорологической науки, а следовательно, и созданию условий для более полного и качественного обеспечения метеорологической информацией авиации.

В настоящее время вся метеорологическая служба в СССР объединена в единую организацию, возглавляемую Главным управлением гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР (ГУГМС при СМ СССР). На ГУГМС возложено метеорологическое обслуживание всех отраслей народного хозяйства, в том числе и обеспечение гражданской авиации (в ГУГМС существует отдел обслуживания авиации, рис. 1).

ГУГМС метеорологическое обеспечение гражданской авиации осуществляет в соответствии с постановлением Совета Министров СССР от 11 сентября 1963 г. и согласно генеральному соглашению, заключенному между Главным управлением гидрометеорологической службы и Министерством гражданской авиации. Порядок метеорологического обеспечения рассматривается в Наставлении по метеорологическому обеспечению гражданской авиации.

В подразделениях гражданской авиации развернута сеть авиационных метеорологических центров (АМЦ) и авиационных метеорологических станций (АМСГ, здесь Г означает, что станция гражданская), занимающихся непосредственным метеорологическим обеспечением гражданской авиации.

ГУГМС несет ответственность за качество и своевременность метеорологического обеспечения гражданской авиации, основной задачей которого является содействие безопасности, регулярности и эффективности полетов самолетов.

В настоящее время метеорологическая служба вследствие некоторого несовершенства методики прогнозирования погоды не может полностью обеспечить запросов авиации. Однако из года в год она все более совершенствует технику измерения метеорологических элементов и улучшает методику прогнозирования погоды. Метеорологические подразделения ГУГМС быстро оснащаются современной аппаратурой, дистанционными приборами для измерения направления и скорости ветра, температуры, влажности воз-

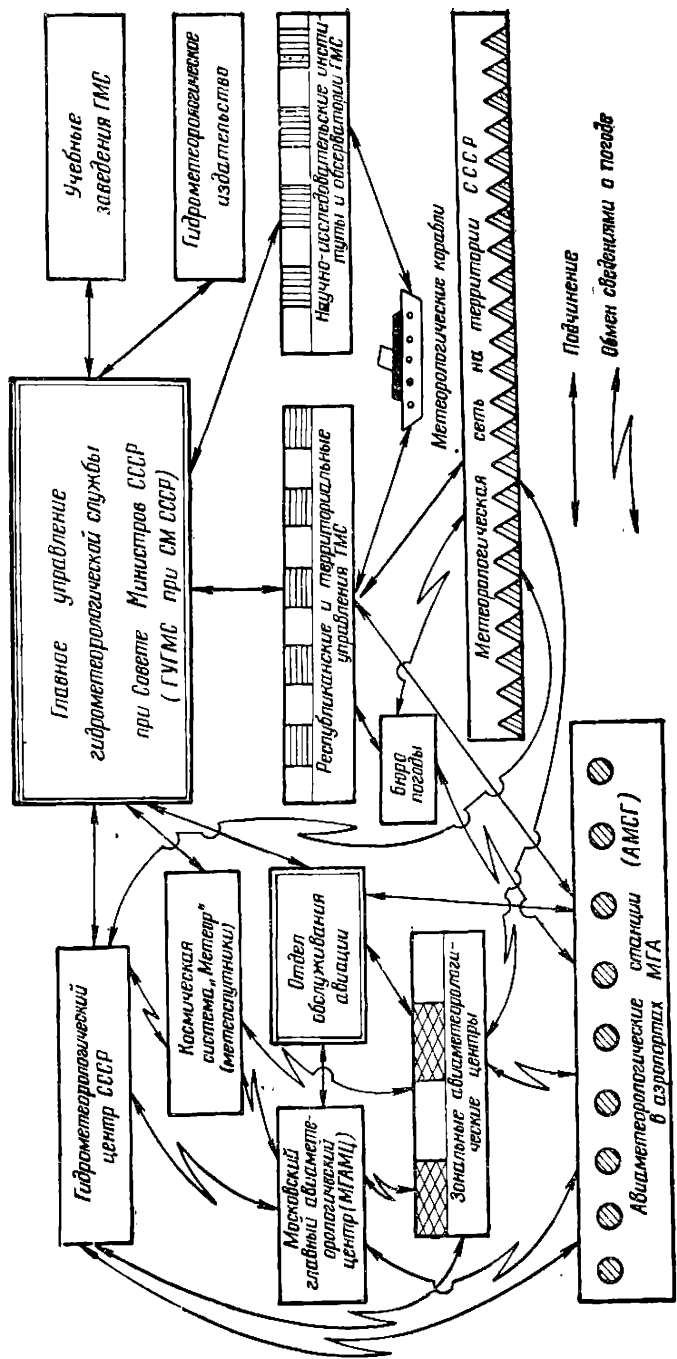


Рис. 1. Схема организации ГУГМС при Совете Министров СССР

духа, видимости, высоты нижней кромки облаков. Ряд метеостанций, обеспечивающих гражданскую авиацию, имеют радиолокаторы для обнаружения опасных явлений погоды, фототелеграфную аппаратуру, позволяющую принимать из метеорологических центров готовые карты погоды.

Развиваются вычислительные методы, позволяющие рассчитывать ожидаемые значения некоторых метеорологических элементов (температуру, давление воздуха). Постепенно развиваются и внедряются методы активного воздействия на погоду.

Все более широкое применение в метеорологической службе находят метеорологические спутники, дающие быструю обширную и очень ценную информацию о погодных процессах над земным шаром.

В системе ГУГМС имеется большое количество научных учреждений, занимающихся исследованием вопросов, косвенно или непосредственно касающихся авиационной метеорологии. К таким учреждениям относятся ордена Ленина Гидрометеорологический научно-исследовательский центр СССР (одновременно являющийся одним из трех мировых метеорологических центров), Главная геофизическая обсерватория, Центральная аэрологическая обсерватория, Научно-исследовательский институт климатологии, Научно-исследовательский институт гидрометеорологического приборостроения, Главный авиационный метеорологический центр и зональные авиационные метеорологические центры.

В области метеорологии обширные исследования ведутся также в Академии наук СССР и в ряде учебных заведений, таких, как МГУ, ЛГУ и др.

Обширные исследования, ведущиеся в области метеорологии, и результаты этих исследований дают основания считать, что авиационная метеорология с каждым годом делает более значительный вклад в обеспечение безопасности полетов.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под наукой метеорологией?
2. Какими элементами и явлениями характеризуется погода?
3. Какими основными вопросами занимается авиационная метеорология?
4. Кто осуществляет метеорологическое обеспечение гражданской авиации?
5. Каковы общие задачи метеорологического обеспечения гражданской авиации?

Глава II СОСТАВ И СТРОЕНИЕ АТМОСФЕРЫ

Земля окружена газообразной оболочкой, называемой атмосферой. Основная масса атмосферы сосредоточена в нижнем слое — до высоты 15 км; здесь наблюдается $\frac{9}{10}$ всей массы атмосферы.

Плотность воздуха, т. е. количество его массы в единице объема, уменьшается с высотой. На уровне моря она составляет в среднем 1270—1300 г на 1 м³, на высоте 20 км — около 90 г на 1 м³ и на высоте 100 км — лишь около 1 мг на 1 м³. На верхней границе атмосферы плотность воздуха приближается к плотности вещества, заполняющего межпланетное пространство.

§ 1. СОСТАВ АТМОСФЕРЫ

Совершенно чистый и сухой воздух содержит¹: азота 78%, кислорода 21%, аргона 0,9%. В незначительном количестве (0,1%) в воздухе имеются углекислый газ, неон, гелий, водород, криптон, ксенон, озон, радон и другие природные и промышленные газы. Количество их отличается большой изменчивостью.

В реальных условиях в воздухе содержится также и водяной пар-газ, количество которого может колебаться от незначительного до 4% в данном объеме. Кроме того, в атмосфере всегда находятся твердые и жидкие примеси — пыль, частицы дыма, капли и кристаллы облаков, микроорганизмы и т. д. Особая роль в температурном режиме атмосферы принадлежит таким газам, как: водяной пар, углекислый газ и озон. Все они являются отопителями атмосферы, так как сильно поглощают длинноволновую тепловую инфракрасную радиацию, излучаемую Землей². Кроме того, озон улавливает коротковолновую ультрафиолетовую радиацию, излучаемую Солнцем.

Озон O₃ является одной из важных составных частей атмосферы, несмотря на то, что содержание его в атмосфере ничтожно — около 0,000001%. Озон наблюдается главным образом в слое от земной поверхности до высоты 55 км.

В приземных слоях содержание O₃ незначительно и весьма изменчиво. Максимальная его концентрация наблюдается на высотах 20—25 км. Полная толщина слоя озона, приведенная к нормальным условиям ($t=0^{\circ}\text{C}$, $p=760$ мм рт. ст.) невелика и составляет в среднем около 3 мм (при тех же условиях толщина слоя атмосферного азота — 6200 м, кислорода — 1560 м).

Атмосферный озон улавливает значительную часть ультрафиолетового излучения Солнца.

Слой озона, или как его называют озоносфера, вследствие по-

¹ Цифры округлены до целых значений.

² Солнечная коротковолновая радиация почти не поглощается атмосферой (поглощается всего лишь 14%). Около половины всей коротковолновой солнечной радиации (44%) поглощается Землей и излучается ею уже в виде длинноволновой тепловой радиации по законам черного тела.

Нагреваясь, земная поверхность сама становится источником излучения тепловых лучей. Таким образом, земная поверхность служит «трансформатором», преобразующим коротковолновое излучение Солнца в тепловое излучение земли. Длинноволновое тепловое излучение Земли сильно поглощается атмосферой. Главными газами-поглотителями являются водяной пар, углекислый газ и озон.

глощения ультрафиолетовых лучей¹, выполняет в стратосфере роль теплового резервуара и определяет температурный режим стратосферы².

Коэффициент поглощения озоном ультрафиолетовых лучей настолько велик, что их энергия поглощается почти целиком там, где солнечный луч только еще вступает в слой озона, т. е. в самой верхней части этого слоя (на высотах 50—55 км). Здесь вследствие этого значительно возрастает температура воздуха.

Озон совершенно не пропускает на Землю ультрафиолетовые лучи с очень короткой длиной волны. Это наиболее вредные лучи. Они убивают все живое, и при наличии их органическая жизнь на земле была бы невозможной. Озон фильтрует и только частично пропускает ультрафиолетовые лучи с большой длиной волны. Эти лучи весьма важны для человечества, они усиливают жизнедеятельность организма, убивают вредные бактерии, вызывают загар, содействуют образованию в организме витамина Д и т. д. Роль озона в атмосфере не ограничивается поглощением вредной ультрафиолетовой части солнечных лучей. Озон задерживает (не пропускает) около 20% теплового излучения Земли, что повышает обогревающее действие стратосферы.

В очень небольших количествах озон образуется в нижних, приземных, слоях атмосферы при грозových разрядах. Количество его при этом очень мало и непостоянно.

Вследствие наблюдающегося непрерывного вертикального перемешивания атмосфера на всех высотах является азотно-кислородной с ничтожным содержанием других газов. Однако на высотах 90—100 км молекулы кислорода O_2 под действием ультрафиолетовой радиации Солнца расщепляются на атомы O и в более высоких слоях уже наблюдаются в виде атомов (атомарный кислород — O).

Кислородное «голодание», наблюдаемое при полетах на высотах более 4—5 км, объясняется не уменьшением процентного содержания кислорода в воздухе (что не имеет места, как мы видели выше), а уменьшением его парциального (собственного) давления.

Есть предположение, что на высоте около 200 км молекулы азота N_2 также распадаются на атомы. Таким образом, выше 200 км кислород и азот, составляющие атмосферу, находятся в виде атомов.

§ 2. СТРОЕНИЕ АТМОСФЕРЫ

Атмосфера на высоте делится на несколько слоев или сфер (рис. 2), отличающихся между собой физическими свойствами. Самый нижний слой называется тропосферой, вышележащие —

¹ Ультрафиолетовая радиация — область солнечного спектра, прилегающая к его видимой части со стороны фиолетовых лучей и простирающаяся до рентгеновских лучей.

² Подробно о стратосфере см. § 2 гл. II.

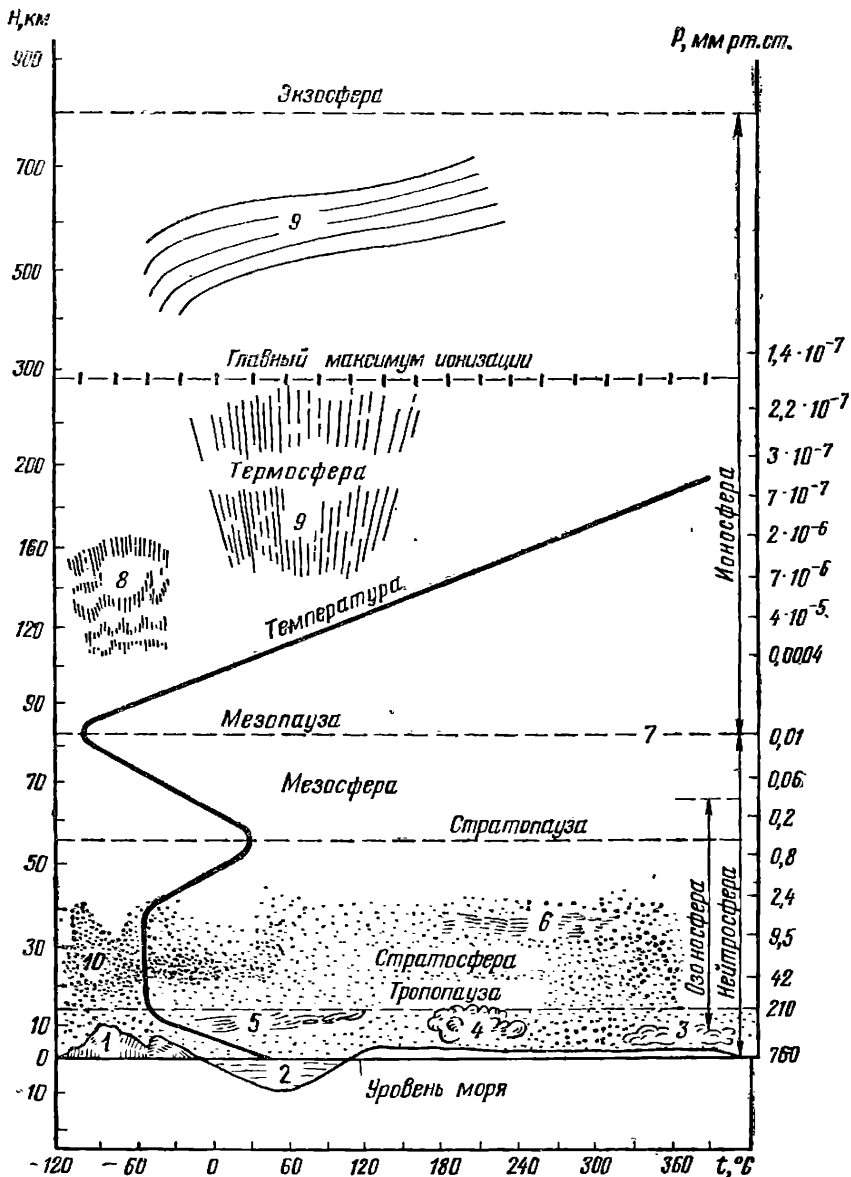


Рис. 2. Схема вертикального строения атмосферы:

1 — наибольшая высота гор (Эверест); 2 — наибольшие глубины океана; 3 — облака нижние; 4 — облака конвекции; 5 — облака перистые; 6 — облака перламутровые; 7 — облака серебристые; 8 — полярные сияния в нижней ионосфере; 9 — полярные сияния в верхней ионосфере; 10 — слой наибольшей концентрации озона

стратосферой, мезосферой, термосферой и экзосферой. Между указанными слоями лежат переходные прослойки — тропопауза, стратопауза, мезопауза и термопауза.

Тропосфера простирается от земной поверхности до высоты 10—11 км. У полюсов она бывает ниже, у экватора выше. В тропосфере сосредоточено около 79% всей массы атмосферы и почти весь водяной пар. Здесь наблюдается понижение температуры с высотой, происходит образование облаков и осадков, имеют место вертикальные движения воздуха, преобладают западные ветры. По погодным особенностям тропосфера подразделяется на три слоя.

1. Пограничный слой (слой трения) простирается от земли до высоты в среднем 1 000 м. В этом слое сказывается тепловое и механическое воздействие земной поверхности. Наблюдается суточный ход метеорологических элементов. Имеет место усиление ветра с высотой и поворот его вправо.

Нижняя часть пограничного слоя, от поверхности земли до высоты 50—100 м, носит название приземного слоя. Здесь сильнее всего сказывается влияние подстилающей поверхности, вследствие чего такие метеорологические элементы, как температура, влажность воздуха, ветер, испытывают резкие изменения с высотой.

Характер подстилающей поверхности в значительной степени определяет погодные условия приземного слоя.

2. Средний слой располагается от верхней границы пограничного и простирается до высоты 6 км. В этом слое почти не сказывается влияние подстилающей поверхности. Здесь погодные условия определяются главным образом атмосферными фронтами, о которых подробно говорится в гл. VIII, и вертикальными конвективными токами воздуха.

3. Верхний слой лежит выше среднего и простирается вплоть до тропопаузы. Под ее влиянием в слое происходит некоторое скопление водяного пара, пыли, бывают облака кристаллического строения, наблюдаются сильные ветровые потоки — струйные течения, на внешних границах которых встречаются турбулентные зоны.

Выше тропосферы располагается переходная воздушная прослойка — тропопауза. Ее толщина может быть от нескольких сотен метров до 2—3 км. Тропопауза играет важную роль в погодных процессах верхней тропосферы, так как является мощным воздушным задерживающим слоем.

Стратосфера простирается от тропопаузы до высоты 50—55 км. В ней сосредоточено около 20% всей массы атмосферы. Вследствие незначительного содержания водяного пара в стратосфере облака не образуются, за исключением изредка возникающих на высоте 20—30 км перламутровых облаков, природа которых не выяснена.

В нижние слои стратосферы могут из верхней тропосферы проникать вершины кучево-дождевых облаков. При полетах в ниж-

них слоях стратосферы иногда наблюдается сильная болтанка самолетов.

По мере подъема в стратосфере температура вначале не изменяется (этот слой называют изосферой) и лишь к верхней границе несколько повышается, достигая среднего значения 0°C . Однако над различными участками земной поверхности температура в изосфере на одной и той же высоте может быть различной. Она может также меняться и над одним и тем же пунктом с течением времени.

Температурный режим стратосферы в значительной степени определяется озоном, наибольшее количество которого сосредоточено на высотах 20—25 км.

Зимой в стратосфере преобладают западные ветры. Летом такие ветры наблюдаются лишь в нижнем слое. Они с высотой ослабевают и выше 20—25 км переходят на восточные. Слой, где наблюдается затишье и смена ветра, называется **VELOПАУЗОЙ**. Толщина ее около 1,5—2,5 км.

В верхней части стратосферы могут наблюдаться сильные ветровые потоки — стратосферные струйные течения.

Выше стратосферы лежит воздушная прослойка — **СТРАТОПАУЗА**, отделяющая стратосферу от мезосферы.

Мезосфера располагается от высоты 50—55 км и простирается до 80 км. Здесь сосредоточено около 0,25% всей массы атмосферы. С высотой в мезосфере наблюдается понижение температуры, которая у верхней границы достигает значения около -80°C . Зимой в мезосфере преобладают сильные западные ветры, летом — восточные. У верхней границы слоя, примерно на высоте около 80 км, изредка наблюдаются серебристые облака, природа которых не выяснена.

Переходным слоем между мезосферой и термосферой является мезопауза.

Термосфера простирается от 80 до 800 км. Здесь сосредоточено всего 0,006% массы атмосферы. В этом слое атмосферы с высотой наблюдается повышение температуры до нескольких тысяч градусов по Цельсию. Характерной особенностью термосферы является происходящая там ионизация воздуха. Особенно активно она протекает на высотах около 100 и 200 км. Выше термосферы предполагается наличие переходной прослойки термопаузы, отделяющей термосферу от экзосферы.

Экзосфера лежит над термосферой и простирается до внешней границы атмосферы. Здесь масса атмосферы ничтожна (около $10^{-8}\%$). Молекулы и атомы газов вследствие их малого количества имеют колоссальные скорости и могут, преодолевая земное притяжение, уходить в межпланетное пространство.

По современным представлениям верхняя граница атмосферы располагается на высоте 2 000—3 000 км.

§ 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

В настоящее время исследования атмосферы производятся с широким применением различных методов. Для наблюдения за воздушными течениями (ветром) применяются шары-пилоты и радиопилоты. В этом случае в свободный полет выпускается резиновый шар, наполненный водородом, за полетом которого наблюдают в оптический или радиотеодолит. По вертикальным и горизонтальным углам, получаемым в результате наблюдения, определяется направление и скорость ветра на различных уровнях.

Для измерения на высотах давления, температуры и влажности воздуха применяются: прибор-самописец (метеорограф), устанавливаемый на самолете-разведчике погоды, и прибор радиозонд, выпускаемый в свободный полет на резиновом шаре-пилоте. Радиозонды снабжаются небольшими радиопередатчиками, с помощью которых ведется автоматическая передача на землю сигналов о давлении, температуре и влажности.

Границы облачных слоев определяются с помощью шаров-пилотов, прожекторов, светлокаторов и радиолокаторов, а также с самолетов и аэростатов. Радиолокаторами ведутся наблюдения за грозовыми очагами, представляющими большую опасность для авиации. При помощи самолетов изучается микроструктура облаков, обледенение, очаги турбулентности (завихрений) в атмосфере.

Для исследований более высоких слоев атмосферы применяются метеорологические ракеты и искусственные спутники Земли, снабженные специальной аппаратурой. Применяются два вида ракет: геофизические и метеорологические. Первые используются для исследований атмосферы на высотах более 100 км, вторые — до 100 км. Приборы, устанавливаемые на ракетах, дают возможность вести наблюдения за температурой, давлением и плотностью воздуха, его химическим составом, электрическими зарядами и т. д.

Искусственные спутники Земли предназначаются для исследования высоких слоев атмосферы и космического пространства. Специальные метеорологические спутники (в СССР — типа «Космос», «Метеор», в США — «Тайрос», «Нимбус», «Эссо») используются для изучения крупномасштабных метеорологических процессов, протекающих в тропосфере и определяющих изменения погоды. Метеорологические спутники снабжаются телевизионными камерами и средствами наблюдения за инфракрасным излучением, которые позволяют следить за распределением облачности по всему земному шару днем и ночью или вдоль определенных больших участков земли. С помощью различной аппаратуры, имеющейся на спутниках, ведутся исследования и ряда других факторов, оказывающих существенное влияние на формирование погоды.

Кроме прямых методов, ценную информацию о состоянии высоких слоев атмосферы дают косвенные методы, основанные на изучении геофизических явлений, происходящих в высоких слоях атмосферы. Эти явления, зависящие от состояния высоких слоев,

позволяют судить о наблюдающихся там метеорологических условиях, таких, как температура, давление, плотность воздуха, особенности его состава, электрическом состоянии и т. п. К указанным геофизическим явлениям, используемым для косвенного изучения атмосферы, относятся: аномальное распространение звука, метеоры, полярные сияния, свечение ночного неба, спектроскопические и спектрофотометрические исследования солнца, колебания атмосферного давления, серебристые облака, сумеречные явления, вариации земного магнетизма и некоторые другие. Наиболее изученными являются нижние слои атмосферы, где систематически проводится зондирование с помощью шаров-пилотов, радиопилотов, радиозондов и самолетов.

§ 4. СТАНДАРТНАЯ АТМОСФЕРА

Состояние реальной атмосферы довольно изменчиво. Такие характеристики, как температура, давление и плотность воздуха, оказывающие влияние на полет самолета, могут значительно меняться в течение суток, года, а также отличаться между собой над различными географическими районами. Все это затрудняет использование указанных данных для расчетов аэродинамических характеристик самолетов, сравнения этих характеристик, производить градуировку самолетных приборов и т. д.

Для облегчения этой задачи применяется стандартная атмосфера (СА). Эта «постоянная» атмосфера рассчитана по среднегодовым характеристикам основных метеорологических элементов атмосферы.

В СССР применяется СА по ГОСТ 4401—64. При ее расчете взяты летние среднегодовые метеорологические условия средних широт (40—50° с. ш.) без учета их возможных изменений. Исходными данными взяты следующие условия.

За нулевую высоту принят уровень моря. Барометрическое давление на нулевом уровне принимается равным $p_0 = 1013,25 \text{ мб} = 760 \text{ мм рт. ст.}$ (в системе СИ $p_0 = 101,4 \cdot 10^3 \text{ н/м}^2$); температура на этом же уровне $T_0 = 15^\circ \text{ С} = 288,15^\circ \text{ К}$; изменение температуры с высотой принято равным $0,65^\circ$ на каждые 100 м; влажность в пределах всей атмосферы принята равной нулю; скорость звука на нулевом уровне равна $340,28 \text{ м/сек.}$

Для расчета данных метеозлементов на высотах в стандартной атмосфере применяются различные формулы (уравнение идеального газа, барометрическая формула и т. д.).

В табл. 1 приводятся данные СА для некоторых высот и отклонения температуры от стандартных, наблюдаемые в реальных условиях.

В связи с тем что все летные характеристики самолетов приведены к стандартным условиям, то отличные от стандартных, наблюдаемые значения метеозлементов в реальной атмосфере, приводят к изменению этих летных характеристик. Чем больше