

Уникальный материал об облачности, оптических характеристиках земной поверхности и атмосферы, полях температуры и влажности получен за последние 10—15 лет с помощью метеорологических ИСЗ и пилотируемых космических кораблей. Эти данные используются метеорологическими службами разных стран для анализа состояния атмосферы и при составлении прогнозов погоды.

Из косвенных методов, с помощью которых за последние 70—80 лет были получены сведения о верхних слоях атмосферы, назовем методы, основанные на наблюдениях за прожекторным лучом, аномальным распространением звука, движением следов метеоров, перламутровыми и серебристыми облаками, за распространением электромагнитных волн, а также методы, базирующиеся на спектральных исследованиях ультрафиолетовой радиации, излучения ночного неба и полярных сияний.

3 Тропосфера, стратосфера и мезосфера

Характерной особенностью *тропосферы* является падение температуры с высотой. Среднее значение вертикального градиента температуры в тропосфере около $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ с возможными отклонениями средних (за сезон для данного географического района) значений до $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ в ту и другую сторону. Значения же вертикального градиента в фиксированный момент времени в разных точках могут изменяться в широких пределах — от положительных значений порядка десятков градусов на 100 м до таких же отрицательных значений. В тропосфере образуются туманы и все наиболее важные виды облаков, формируются осадки, грозовая деятельность. В ней сосредоточена основная масса атмосферы — от 75 % в умеренных и высоких широтах до 90 % в низких. Тропосферу принято делить на несколько слоев: а) *нижнюю* или *пограничный слой атмосферы*, от земной поверхности до высоты 1—1,5 км; б) *среднюю* — от 1—1,5 до 6—8 км; в) *верхнюю* — от 6—8 км до тропопаузы.

Уже первые подъемы шаров-зондов в конце прошлого столетия показали, что характерное для тропосферы падение температуры на некоторой высоте прекращается. Сначала падение температуры замедляется, а затем переходит в изотермическое распределение.

Слой атмосферы, характеризующийся замедленным падением ($\gamma < 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$), постоянством или ростом температуры с высотой, носит название *стратосферы*. Границы стратосферы в среднем располагаются на высотах 11 и 50 км; переходный слой от тропосферы к стратосфере называют *тропопаузой*. Среднее (стандартное) значение температуры на этом уровне составляет $-56,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.1).

Стратосфера изучена к настоящему времени достаточно полно с помощью инструментальных методов зондирования атмосферы (радиозонды, самолеты, стратостаты, ракеты). Выше тропопаузы температура чаще всего или не изменяется с высотой ($\gamma=0$), или слабо растет ($\gamma < 0$). Изотермическая стратификация характерна для умеренных широт, инверсия — для низких (экваториальных и тропических) широт.

Изотермическое распределение температуры в стратосфере умеренных широт сохраняется по средним данным до высоты около 25 км. Выше этого уровня температура растет. Среднее значение γ в слое 25—46 км составляет примерно $-0,28^\circ\text{C}/100$ м, средняя

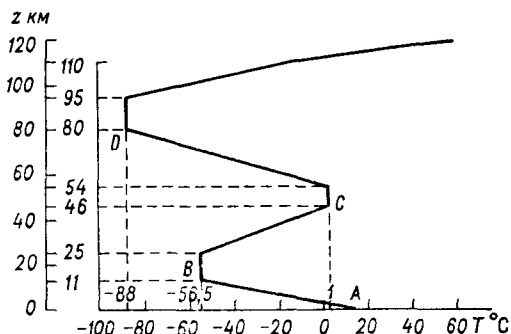


Рис. 2.1. Стандартное (нормальное) распределение температуры воздуха по высоте.

Координаты точек: A — 0, 15 °C; B — 11 км, -88 °C; C — 46 км, 1 °C; D — 80 км, -88 °C.

температура переходного слоя — *стратопазузы* (на высоте 46—54 км), в котором $\gamma=0$, по ракетным данным близка к 0°C (более точно 274 К) с возможными отклонениями в ту и другую сторону до 20°C . Высокая температура стратопазузы и ее рост в слое от 25 до 46 км объясняются поглощением ультрафиолетовой солнечной радиации озоном.

В *мезосфере* — слое атмосферы, расположенном над стратосферой, наблюдается падение температуры с высотой при среднем значении $\gamma=0,35^\circ\text{C}/100$ м. В переходном от мезосферы к термосфере слое — мезопаузе (на высоте 80—95 км) — температура воздуха изменяется от -85 до -90°C (при среднем значении -88°C). Выше мезопаузы — в термосфере — температура вновь растет с высотой главным образом под влиянием поглощения солнечной радиации (с длиной волны меньше 0,24 мкм) кислородом, который при этом диссоциирует (возникает атомный кислород).

Облака. Детально условия образования облаков, их строение и др. рассматриваются в главе 17. Здесь приведем основные сведения, относящиеся к морфологической классификации облаков. Последняя включает описание внешнего вида облаков, а также указания на высоту их нижней границы (основания). В зависимо-

сти от высоты основания z_k все облака принято делить на четыре семейства:

А. Облака верхнего яруса ($z_k > 6$ км);

Б. Облака среднего яруса ($2 \text{ км} \leq z_k \leq 6$ км);

В. Облака нижнего яруса ($z_k < 2$ км);

Г. Облака вертикального развития; высота основания этих облаков, как правило, меньше 2 км, однако их вершина может находиться на любой высоте в пределах тропосферы.

Каждое из семейств включает несколько форм (родов) облаков, которые в свою очередь подразделяются на несколько видов и разновидностей. Фотографии наиболее часто наблюдаемых форм, видов и разновидностей облаков и их описание составляют содержание «Международного атласа облаков».¹ Наименования облаков по международной классификации — латинские, но в СССР часто употребляются также русские названия. Сокращенные обозначения соответствуют латинским названиям облаков.

Сведения о наименовании облаков приведены в табл. 2.3 (по советскому «Атласу облаков»).

Общее число форм облаков (во всех четырех семействах) равно 10. Семейство облаков верхнего яруса включает три формы: перистые (Ci), перисто-кучевые (Cs) и перисто-слоистые (Cs); семейство облаков среднего яруса — две формы: высоко-кучевые (Ac) и высоко-слоистые (As); семейство облаков нижнего яруса — три формы: слоисто-кучевые (Sc), слоистые (St) и слоисто-дождевые (Ns); семейство облаков вертикального развития — две формы: кучевые (Cu) и кучево-дождевые (Cb).

В природе нередко встречаются переходные формы облаков или наблюдается сочетание нескольких форм (видов, разновидностей) облаков.

В стратосфере на высотах 22—30 км образуются *перламутровые облака*. В верхней мезосфере на высотах 82—85 км в летнее время, когда здесь наиболее низкие температуры, наблюдаются *серебристые* (или *мезосферные*) облака. Это очень тонкие облака, настолько прозрачные, что через них хорошо видны звезды. Прежде полагали, что эти облака образуются из вулканической пыли. В настоящее время исследователи считают, что происхождение серебристых облаков аналогично происхождению перистых облаков. Выше 85 км (в области мезопаузы) стратификация атмосферы сильно устойчивая ($\gamma \leq 0$), что способствует накоплению водяного пара. Здесь при очень низких температурах сравнительно небольшая концентрация пара оказывается достаточной для того, чтобы произошла сублимация.

¹ В Советском Союзе издан «Атлас облаков» (Гидрометеоздат, 1978 г.), в котором принята классификация облаков, несколько отличающаяся от международной. С изу-

чения этого «Атласа облаков» и должно начинаться овладение сложным делом наблюдения облаков в природе.

Таблица 2.3. Морфологическая классификация облаков

Семейство	Форма	Вид	Число разновидностей
А	I. Перистые (Cirrus, Ci)	1. Нитевидные (fibratus, Ci fib.)	3
	II. Перисто-кучевые (Cirrocumulus, Cc)	2. Плотные (spissatus, Ci sp.)	2
		1. Волнистые (undulatus, Cc und.)	1
III. Перисто-слоистые (Cirrostratus, Cs)	2. Кучевообразные (cumuliformis, Cc cum.)	1. Нитевидные (fibratus, Cs fib.)	—
		2. Туманообразные (nebulosus, Cs neb.)	—
Б	IV. Высоко-кучевые (Altostratus, As)	1. Волнистые (undulatus, As und.)	4
	V. Высоко-слоистые (Altostratus, As)	2. Кучевообразные (cumuliformis, As cum.)	4
VI. Слоисто-кучевые (Stratocumulus, Sc)		1. Туманообразные (nebulosus, As neb.)	3
	VII. Слоистые (Stratus, St)	2. Волнистые (undulatus, As und.)	3
В		VIII. Слоисто-дождевые (Nimbostratus, Ns)	1. Волнистые (undulatus, Sc und.)
	2. Кучевообразные (cumuliformis, Sc cum.)		4
	IX. Кучевые (Cumulus, Cu)	1. Туманообразные (nebulosus, St neb.)	—
X. Кучево-дождевые (Cumulonimbus, Cb)		2. Волнистые (undulatus, St und.)	—
	Г	XI. Слоисто-дождевые (Nimbostratus, Ns)	3. Разорванные (fractus, St fr.)
—			—
Г	XII. Слоисто-дождевые (Nimbostratus, Ns)	1. Плоские (humilis, Cu hum.)	1
		2. Средние (mediocris, Cu med.)	—
Г	XIII. Слоисто-дождевые (Nimbostratus, Ns)	3. Мощные (congestus, Cu cong.)	1
		1. Лысые (calvus, Cb calv.)	1
Г	XIV. Слоисто-дождевые (Nimbostratus, Ns)	2. Волосатые (capillatus, Cb cap.)	3
		—	—

Для выяснения условий образования серебристых облаков обратим внимание на обстоятельства, отмеченное И. А. Хвостиковым. Для начала конденсации водяной пар должен достичь состояния насыщения ($e = E$). Но давление водяного пара на любом уровне всегда меньше общего давления воздуха; $e < p$ (часть меньше целого). Согласно рис. 2.2, на высотах от 30 до 80 км давление на-

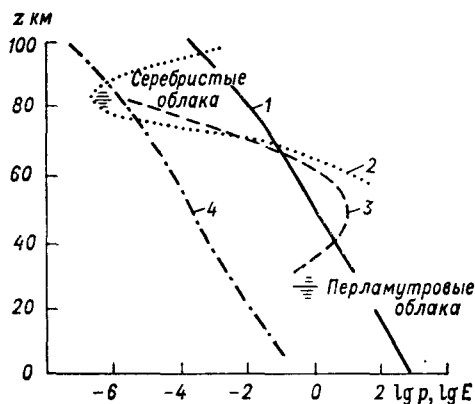


Рис. 2.2. Распределение по высоте атмосферного давления над средними широтами СССР (1), давления насыщенного водяного пара по данным измерений температуры над территорией СССР (2) и над ст. Черчилл, Канада, 59° с. ш. (3) и фактического давления водяного пара (4).

В области мезопаузы водяной пар перенасыщен ($e > E$).

сыщения $E > p$. Это неравенство означает, что состояние насыщения на указанных высотах никогда не может быть достигнуто и тем более не могут образоваться облака. На высотах менее 30 км и в слое от 80 до 85 км давление насыщения $E < p$. Это неравенство указывает на то, что в этих слоях может быть достигнуто состояние насыщения водяного пара ($e = E$), сопровождающееся образованием облаков. На рис. 2.2 нанесена также кривая $e = bp$ (кривая 4), где $b = 2,5 \cdot 10^{-4}$ — постоянная, пропорциональная доле пара ($s = 0,622e/p = 0,622b$). Сравнение кривых e и E показывает, что в слое 80—85 км $e > E$, т. е. в этом слое возможно образование облаков, если справедливо принятое условие постоянства доли пара ($s = \text{const}$) с высотой в пределах стратосферы и мезосферы.

4 Понятие о воздушных массах и фронтах

Анализ состояния атмосферы с помощью приземных и высотных карт погоды, а также данных вертикального зондирования убеждает в том, что атмосфера по своим физическим свойствам неоднородна не только в вертикальном, но и в горизонтальном направлении. По горизонтали изменяются температура, влажность, облачность, запыленность, а также другие метеорологические ве-