

Лейст Эрнест Егорович

Метеорология

Часть 1

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 82-3
ББК 84-4
381

Э81 **Эрнест Егорович Л.**
Метеорология: Часть 1 / Лейст Эрнест Егорович – М.: Книга по Требованию, 2023. –
101 с.

ISBN 978-5-519-92992-9

ISBN 978-5-519-92992-9

© 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.

лучает теплоты. При зимних же склонениях ($\delta < 0$ и $\tan \delta < 0$), не получает теплоты северный полюс. При $\delta = + 23^\circ 5'$ окажется, что $A_{90} = 1.365 A_0$. Таким образом, если склонение солнца достигает максимума, то полюс получает на 36% больше тепла, чем экватор. Этот результат применим к верхнему слою атмосферы. Рассматривая летние температуры различных местностей России, мы найдем, что абсолютный максимум летней температуры запада и юга России $+ 35^\circ$ (Вильно 33° , Киев 35° , Поти 34°), а в Якутск и в некоторых других местах Сибири он достигает до $+ 40^\circ$ (Иркутск 40° , Якутск 39° , Верхоянск 38°). Максимальная температура Якутска и Иркутска оказывается выше максимума температуры юга России. Это объясняется тем, что количество получаемой теплоты в верхнем слое атмосферы в это время больше для северного полюса, чем для экватора, что мы видим из формулы $A_{90} = 1.365 A_0$.

Мы уже видели, что при условии

$$\pi \tan \delta = 1 \text{ т.е. } \tan \delta = \frac{1}{\pi} \quad \text{или} \quad \delta = 17^\circ 40'$$

справедливо равенство $A_{90} = A_0$.

Если же $\delta > 17^\circ 40'$, то и $A_{90} > A_0$.

В течение 85 дней (с 10 мая по 3 авг. нов. ст.) склонение солнца бывает больше $17^\circ 40'$. Следовательно, в течение этих 85 дней полюс получает тепла больше чем экватор. В течение 28 дней до солнцестояния и 28 дней после него тепла на полюсе больше, чем в любой другой точке на земной поверхности.

Отыскивая места, получающие максимум тепла, заметим перегибание их между тропиками (от $\varphi = 23^\circ 5'$ до $\varphi = - 23^\circ 5'$), т.к. максимум тепла приходится в тех местах земного шара, где склонение солнца равняется широте места и когда солнце при кульминации бывает в зените. Кроме того максимум тепла данной точкой получается тогда, когда отношение $\frac{a_e}{a_0}$ достигает максимума. Последнее отношение показывает, что количество тепла получаемое южным полушарием и северным неодинаково. Действительно в перигелии земля обращена к солнцу южным полушарием, поэтому $a_0 = 1 - e$; в афелии же, когда земля обращена к солнцу северным полушарием, $a_0 = 1 + e$. Ясно, что

$$\left(\frac{a}{a_0}\right)^2 = \frac{\left(\frac{a}{1-e}\right)^2}{\left(\frac{a}{1+e}\right)^2} = \left(\frac{1+e}{1-e}\right)^2 = (1+2e)^2 = 1+4e.$$

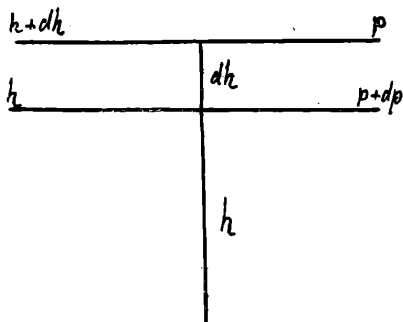
Эксцентриситет земной орбиты (e) близок $1/60$, поэтому $\left(\frac{a}{a_0}\right)^2 = 1.07$, т.е. южное полушарие получает летом на 7% больше тепла чем северное, но зато лето южного полушария короче лета северного.

Всех времен года в наших широтах четыре. Лето наступает тогда, когда высота солнца достигает наибольшей величины, а зима -

когда эта высота наименьшая. На экваторѣ же время года восемь, ибо тамъ два раза въ году высота солнца достигаетъ наибольшей величины и два раза наименьшей.

§ 2. СОСТАВЪ АТМОСФЕРЫ И ЕЯ СВОЙСТВА. Главной составной частью атмосферы является атмосферный воздухъ. Кромѣ того въ атмосферу входятъ водяной паръ, водяныя капли, водяные кристаллы, пыль и нѣкоторыя химическія соединенія. Если бы составъ атмосферы не измѣнялся, то среднія широты имѣли бы сравнительно постоянную погоду. (Подъ погодой разумѣютъ отдѣльную фазу въ состояніи атмосферы, а подъ климатомъ — среднюю погоду). Нашъ атмосферный воздухъ представляетъ простую механическую смѣсь нѣсколькихъ газовъ: кислорода, азота, водорода, ксенона, криптона, аргона и др. Какъ самостоятельное соединеніе, въ воздухѣ вездѣ и всегда находится угольная кислота, которая тоже представляетъ элементъ атмосферы. Принимаютъ слѣдующій составъ атмосферы: 78% (по объему) азота, 21% — кислорода и 1% всѣхъ прочихъ атмосферныхъ элементовъ, важное мѣсто изъ которыхъ занимаетъ аргонъ, находящійся въ атмосферѣ въ количествѣ 0.94%. Хотя ксенонъ, криптонъ и др. находятся въ ничтожномъ количествѣ въ атмосферѣ, тѣмъ не менѣе въ теоретической отношеніи они играютъ важную роль. Напримѣръ, криптона въ воздухѣ мало, но онъ имѣетъ большое значеніе при свѣрныхъ сіяніяхъ, ибо спектры свѣрнаго сіянія и криптона имѣютъ общія линіи. Сумма атмосферъ отдѣльныхъ газовъ и водяного пара даетъ давленіе около 760 м.м. ртутнаго столба. (Считать это давленіе нормальнымъ, конечно, у насъ нѣтъ основаній. Мы считаемъ его среднимъ при уровнѣ моря. Для Москвы, находящейся на высотѣ 150 м. надъ уровнемъ моря, нормальнымъ давленіемъ является приблизительно 745 мм.). Зная количество азота въ атмосферѣ, можно вычислить какое давленіе оказываетъ его атмосфера. Окажется, что это давленіе равно 600 мм.; только 160 мм., въ среднемъ, будетъ приходится на кислородъ и прочіе элементы. Водородъ, находящійся въ атмосферѣ, является самымъ легкимъ газомъ. Поэтому водородная атмосфера распространена дальше всего; его мало внизу; тяжелыхъ же газовъ мало въ верхнихъ слояхъ атмосферы; они скопляются преимущественно у поверхности земли. Легкіе газы распространяются до высоты 200-300 верстъ. Для полученія точнаго выраженія отдѣльныхъ составныхъ частей атмосферы на разныхъ высотахъ, рассмотримъ барометрическую формулу Лапласа, къ выводу которой и приступимъ. Представимъ (черт. 2) два слоя воздуха на высотѣ h и $h + dh$ съ соответствующими давленіями $p + dp$ и p . При какихъ условіяхъ слой воздуха толщиной въ dh не упадетъ и не поднимется? Это можетъ быть только въ томъ случаѣ, когда вѣсъ этого слоя равенъ разности давленій. Пусть s — вѣсъ единицы объема воздуха на неизвѣстной высотѣ; тогда для равновѣсія необходимо:

$$p - (p + dp) = s dh; \quad \text{и.е.} \quad -dp = s dh.$$



черт. 2.

По закону Бойля-Мариотта давление изменяется пропорционально объёму; поэтому, если S_0 — объём единицы воздуха в каком-нибудь другом слое при давлении p_0 , то

$$S : S_0 = p : p_0.$$

Определив отсюда S и вставив его в первую формулу, найдем:

$$-dp = \frac{S_0}{p_0} dh \cdot p.$$

Величины S_0 и p_0 можно выбрать произвольно.

Их можно взять для поверхности земли.

Итак $-\frac{dp}{p} = \frac{S_0}{p_0} dh.$

Интегрируя это выражение от слоя h с давлением P до слоя H с давлением p , получим:

$$-\int_p^P \frac{dp}{p} = \frac{S_0}{p_0} \int_h^H dh; \quad \frac{S_0}{p_0} = \text{Const.}$$

Обозначим постоянную $\frac{S_0}{p_0}$ через K . Формула Лапласа тогда примет вид

$$-\int_p^P \frac{dp}{p} = \frac{1}{K} \int_h^H dh \quad \text{или} \quad K \lg \frac{P}{p} = H - h.$$

Объём одного куб. метра сухого воздуха при температуре 0° и давлении 760 мм. равен 1293 гр., а давление на один кв. метр при 760 мм. ртутного столба составляет 10333 килгр. поэтому $K = \frac{10333}{1.293} = 7992$.

В какой-же мере будет выражено K ? Мы брали объём одного куб. метра воздуха и давление на один кв. метр; следовательно, K будет выражено в метрах. Итак, $(H-h)^{\text{метр}} = 7992 \lg \frac{P}{p}$

Для получения этой формулы в десятичных логарифмах нужно коэффициент 7992 разделить на модуль 0.43429. Найдем:

$$(H-h)^{\text{метр}} = 18400 \lg \frac{P}{p}.$$

На поверхности моря ($h = 0$) имеем:

с уровня моря $H^{\text{метр}} = 18400 \lg \frac{P}{p}$ или $H^{\text{метр}} = 18400 \lg \frac{(\text{ср. давл. на ур. моря})}{p}$

При выводе этой формулы, мы приняли объём куб. метра воздуха равным 1293 килгр. Но ведь в воздух всегда имеются водяные пары. Кроме того объём воздуха зависит от температуры, плотности и напряжения силы тяжести. Для получения точной формулы нужно все это принять во внимание. Допуская температуру воздуха равной t , абсолютную влажность — a , а причём t и a средние из данных на уровне моря и на высоте H и место наблюдения в широте φ , тогда объём одного куб. метра воздуха будет не 1293 гр., а

$$\frac{1293}{(1+\alpha t)(1+0.373 \frac{a}{p_0})(1+0.00262 \cos 2\varphi)}$$

гдѣ $0.378 = 1 - 0.622$ ($0.622 =$ удѣльный вѣсъ водяного пара), а p_0 среднее изъ T и p . Точная формула Лапласа приметъ видъ:

$$H^{метр} = 18400(1 + \alpha t) \left(1 + 0.378 \frac{a}{p_0}\right) (1 + 0.00262 \cos 2\varphi) \lg \frac{T}{p}.$$

Далѣе, 1293 гр. есть вѣсъ куб. метра атмосфернаго воздуха, а не вѣсъ куб. метра „атмосферн“. Для опредѣленія высоты атмосферы нужно принять во вниманіе удѣльные вѣса отдѣльных газовъ. Если вмѣсто вѣса куб. метра воздуха поставить вѣсъ того-же объема газа, то найдемъ формулу, опредѣляющую высоту этого газа въ атмосферѣ. Съ помощью формулы Лапласа можно рѣшать различныя задачи. Напримѣръ, до какой высоты нужно подняться, чтобы существующее тамъ давленіе равнялось $1/10$ атмосфернаго давленія внизу? Въ этомъ случаѣ $\frac{p}{p_0} = 10$. Слѣдовательно:

$$H = 18400 \lg 10 = 18400 \text{ метр.}$$

На такой высотѣ давленіе около 76 м.м. Зная вѣсъ одного куб. метра газа, при 0° и 760 м.м. давленія и нормальной тяжести, можно тѣмъ-же способомъ (какъ было сдѣлано для воздуха) вычислить коэффициентъ данного газа въ барометрической формулѣ. Этотъ результатъ данъ въ слѣдующей таблицѣ, въ которой кромѣ того дано процентное содержаніе газовъ въ атмосферѣ и плотность ихъ относительно воздуха.

Назваіе газа	N.	O.	CO ₂	Ar.	H.	Ne.	He.
% содерж. его	78.03	20.99	0.03	0.94	0.01	0.015	0.00015
Плотн. его относ. воздуху.	0.967	1.105	1.529	1.378	0.069	0.689	0.137
Знач. къ т.	19021	16647	12088	13357	264750	26710	134520

Ксенона и криптона въ нижнихъ слояхъ атмосферы очень мало: ксенона 0.000001% и криптона 0.00001%. Кислородъ имѣется въ наибольшемъ количествѣ въ низкихъ слояхъ атмосферы. Если процентное отношеніе кислорода уменьшается, то %-ое отношеніе азота увеличивается. На нѣкоторой высотѣ количество азота наибольшее. Такое распредѣленіе азота и кислорода имѣетъ важное значеніе для жизни. Если-бы кислорода было мало внизу, но много въ верхнихъ слояхъ атмосферы, то лучшія условія жизни животнаго міра перемѣстились-бы въ верхніе слои. Такъ какъ углекислота нужна растеніямъ, то наибольшее количество ея находится въ нижнемъ слой атмосферы. Водородъ - самый легкій газъ и поэтому его атмосфера распространена очень далеко. Криптонъ и ксенонъ - газы тяжелые; они находятся въ нижнихъ слояхъ атмосферы. Мы упоминали уже, что спектры сѣвернаго сіянія и криптона имѣютъ общія линіи. Но такъ какъ сѣверное сіяніе находится на большой высотѣ, гдѣ нельзя предположить существованіе криптона, то допускаютъ, что послѣдній содержитъ особый газъ,

болѣ легкій, который распространяется до большой высоты. Этотъ газъ отождествляютъ съ короніемъ солнца, только для земли его называютъ геоко-роніемъ. Геокороній-гипотетическій газъ. По періодической системѣ эле-ментовъ для него дается атомный вѣсъ около 0.4. Для сужденія объ отно-сительномъ содержаніи газовъ на различныхъ высотахъ дадимъ таблицу.

Высота отъ пов. земли	Давленіе атмосф.	O.	N	H.	He	Геоконо- ній
0 кил.	760 мм.	20.9%	78.1%	0.0033%	0.0005%	
40 "	1.9 "	10 "	88 "	1. "		
80 "	0.02 "	1 "	21 "	55 "	4 "	19%
100 "	0.01 "	слѣды	1 "	67 "	4 "	29%

Особенно замѣчателенъ въ этой таблицѣ азотъ. Его количественное отноше-ніе увеличивается до 88% на высотѣ 40 кил., а затѣмъ быстро падаетъ.

Водяной паръ имѣетъ своей законъ распредѣленія въ атмосферѣ. Мы ви-дѣли, что для сухого воздуха значеніе K равно 18400 м.; для водяного пара K имѣетъ особое значеніе, ибо онъ легче воздуха. Удѣльный вѣсъ его равенъ 0.622. Для полученія K , соответствующаго водяному пару, нужно 18400 м. раздѣлить на 0.622; найдемъ около 29450 м. На такой высотѣ давленіе водяного пара достигаетъ (по вычисленію) $1/10$ давленія водя-ныхъ паровъ внизу. Но наблюденія показываютъ, что давленіе водяного па-ра равно $1/10$ атмосфернаго уже на высотѣ 6½ килом., слѣдовательно во-дяной паръ распредѣляется по другому закону, чѣмъ всѣ газы атмосферы. Это происходитъ оттого, что водяной паръ распредѣляется неравномѣрно, ибо температура на разныхъ высотахъ атмосферы различна. Водяной паръ образуется вслѣдствіе испаренія воды со свободной поверхности *и съ*
поверхности растений. Благодаря неравномѣрности распре-дѣленія растительнаго покрова и свободной поверхности воды, водяной паръ образуется въ различныхъ мѣстахъ въ неодинаковомъ количествѣ; а диффузія, идущая очень медленно, не можетъ этого сгладить. Слѣдующая таблица даетъ намъ количественное содержаніе водяного пара въ одномъ куб. метрѣ воздуха (при полномъ его насыщеніи) при разныхъ температурахъ.

Темп. по Cels...

Колич. вод. паровъ въ 1 гр.

+ 40°	52.8
+ 20	17.3
0	4.9
- 20	1.1
- 40	0.17

Чѣмъ выше температура, тѣмъ больше нужно водяныхъ паровъ для насыщенія воздуха и обратно. На высотѣ 9000 м. температуры наблюдалась - 40° . Поэтому на этой высотѣ одинъ куб. метръ воздуха можетъ содержать водяныхъ паровъ только 0.17 гр. Благодаря пониженію температуры съ высотой, атмосфера является какъ бы фильтромъ для водяныхъ паровъ. Водяныхъ паровъ, благодаря высокой температурѣ и сильному испаренію, особенно много въ тропическихъ странахъ; здѣсь они простираются до большей высоты, чѣмъ въ странахъ болѣе холодныхъ.

Кромѣ атмосфернаго воздуха и водяныхъ паровъ третьимъ важнымъ элементомъ атмосферы является атмосферная пыль. Если пропустить черезъ щель ставни солнечный лучъ, то ясно можно различить частицы пыли, которыя какъ-будто плаваютъ въ атмосферѣ. Эта пыль - замѣтная, крупная. Подъ атмосферной пылью разумѣютъ болѣе мелкую пыль, которую трудно разглядѣть даже въ микроскопъ. Атмосферная пыль очень разнообразна; она была изучена при помощи спектроскопа; въ ней нашли *Ca*, *Si*, *Fe*, *Mg*, *S* и др. элементы. Если-бы не было этой атмосферной пыли, (объ электрическихъ іонахъ рѣчь будетъ дальше) то и не было-бы въ воздухѣ водяныхъ капель. Представимъ себѣ сосудъ, одна изъ стѣнокъ котораго можетъ быть вынута. Пусть этотъ сосудъ наполненъ воздухомъ, насыщеннымъ водяными парами при температурѣ $+ 30^{\circ}$. Для его насыщенія потребуется на каждый куб. метръ воздуха 30.1 гр. водяныхъ паровъ. Увеличимъ объемъ воздуха въ два раза. Результатомъ расширенія газа явится паденіе температуры. Положимъ, что температура съ 30° пала до 10° . При этой температурѣ для насыщенія достаточно уже 9.4 гр. воды. Поэтому, почти 21 гр. воды должны стечь т.е. въ сосудѣ получится туманъ. Однако, если воздухъ раньше былъ профильтрованъ черезъ вату, то тумана не получится и сгущеніе паровъ произойдетъ безъ тумана на стѣнкахъ сосуда. Отсюда ясно, что пыль необходима для сгущенія водяныхъ паровъ въ атмосферѣ. Тотъ-же приборъ можетъ служить и для опредѣленія количества атмосферной пыли. Зная количество водяныхъ паровъ можно сдѣлать заключеніе о количествѣ пыли. Оказывается, что даже на высокихъ горахъ въ куб. сант. находится около 1000 частицъ пыли. Въ комнатномъ воздухѣ въ томъ-же самомъ пространствѣ число частицъ пыли значительно больше. Въ Лондонѣ во время опыта Aitken'a въ залѣ Королевскаго Общества при газовомъ освѣщеніи въ куб. сант. число частицъ пыли достигало 20 миллионновъ. Итакъ, пыль является ядромъ сгущенія. При отсутствіи ея водяной паръ на предметахъ превращался-бы въ жидкую воду; поэтому на землѣ не было-бы сухихъ предметовъ; атмосфера была-бы безъ облаковъ и не было-бы циркуляціи воды. Пыль представляетъ собою продуктъ сухого испаренія каждаго предмета. Различаютъ макроскопическую пыль болѣе крупную, видимую глазомъ и микро-

скопическую, первая есть продукт разрушенія твердыхъ тѣлъ; микроскопическая - видна подъ микроскопомъ только въ томъ случаѣ, когда происходитъ на ней сгущеніе воды. Въ мѣстахъ съ растительнымъ покровомъ преобладаетъ преимущественно микроскопическая пыль. Она представляетъ изъ себя иногда продуктъ изверженія вулкановъ. Напримѣръ, въ 1883 г. 20 мая вулканъ Кракатау выдѣлилъ громадное количество пыли, которая держалась до осени 1886 года. Крупныя частицы падали тотчасъ-же послѣ изверженія, а мелкія распространялись по всей землѣ, вызывая въ атмосферѣ особыя оптическія явленія, какъ напримѣръ, вѣнцы вокругъ солнца, луны и планетъ. Пыль Кракатау дала послѣ изверженія вѣнецъ Бишопа около солнца до 30° . Эта пыль, какъ уже говорилось, держалась $3\frac{1}{2}$ года; слѣдовательно, паденіе ея было очень медленное. Макроскопическая-же пыль переносится вѣтрами. Въ южной Россіи имѣются „черныя бури“, которыя сопровождаются выпаденіемъ большихъ количествъ пыли. Въ Египтѣ, во время песчаныхъ бурь, атмосфера наполнена пылью до такой степени, что невозможно даже открыть глаза.

Кромѣ атмосферной пыли въ атмосферѣ имѣются еще нѣкоторыя химическія соединенія, какъ напримѣръ, амміакъ, сѣрная кислота и нѣкоторыя соли. Большое количество соли встрѣчается въ морскомъ воздухѣ. Находящійся въ атмосферѣ амміакъ представляетъ собою естественное удобреніе почвы. Дождевая вода проходя черезъ атмосферу поглощаетъ его. (На каждую десятину приходится около пуда амміака въ годъ). Какъ особое аллотропическое состояніе кислорода отиѣтимъ озонъ, количество котораго послѣ грозы особенно велико. Имѣется въ атмосферѣ также и перекись водорода.

Разбирая составъ атмосферы, мы указали, что микроскопическая пыль является ядромъ сгущенія водяныхъ паровъ. Для подтвержденія этого важно выяснить структуру дождевыхъ капель. Если облака (совокупность элементовъ тумана) плаваютъ, то казалось-бы капли не могутъ-быть плотными шариками; онѣ должны состоять изъ водяныхъ оболочекъ, наполненныхъ воздухомъ. При такихъ пленкахъ, при определенной ихъ толщинѣ, въ разсѣянномъ свѣтѣ, мы и должны получить голубой цвѣтъ неба. Такова была теорія Клаузіуса. Метеорологическая оптика иначе объясняетъ лазурь неба, поэтому допустить, что капли въ облакахъ являются пустыми оболочками, нѣтъ основаній. Принимая капли за оболочки, мы не могли-бы предположить микроскопическую пыль ядромъ сгущенія.

§ 3. *ВЫСОТА АТМОСФЕРЫ*. Предположимъ, что барометрическое давленіе на уровнѣ моря равно 760 м.м. Это значитъ, что, если-бы атмосфера была заиѣнена ртутью, то высота такой ртутной атмосферы равнялась-бы 760 м.м. и давленіе ея на одинъ квадратъ составляло-бы 10333 килогр. Всѣхъ

куб. метра сухого воздуха при 760 мм. давления и 0° температуры равен 1.293 кгр. Если допустить, что атмосфера однородна и вездѣ одинаково плотна, то давления въ 10333 кгр. на квадр. метръ получится тогда, когда мы помѣстимъ одинъ на другой $\frac{10333}{1.293}$ или 7992 слоя въ метръ толщиною. Высота такой однородной или *гомогенной* атмосферы будетъ равна 7992 м. или около 8 веретъ. Мы не приняли здѣсь во вниманіе, что плотность атмосферы уменьшается съ высотой поэтому въ дѣйствительности высота атмосферы должна оказаться больше. Вчислѣя по формулѣ

$$H = \kappa \lg \frac{P}{p}$$

ту высоту, гдѣ давление атмосферы $p=0$, найдемъ безконечно-большую высоту. Такимъ образомъ 8 веретъ и ∞ будутъ предѣлы, которые мы дадимъ для высоты атмосферы.

Въ слѣдующей таблицѣ сопоставлены величины, которыя давали различные ученые для высоты атмосферы.

Наблюдатель

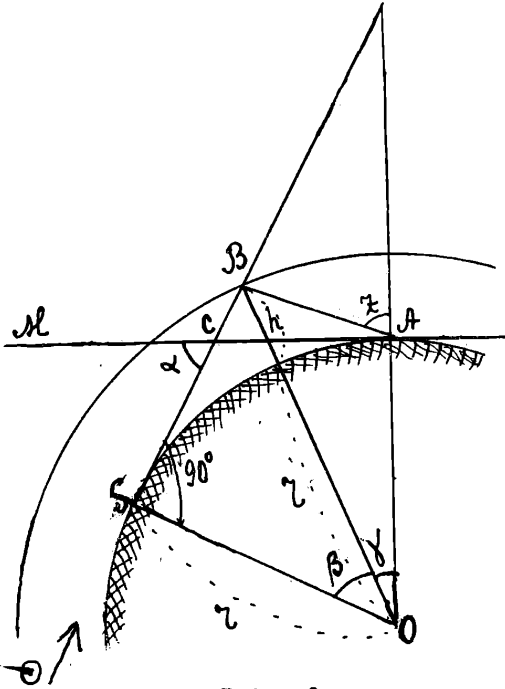
Высота атмосферы

<i>Melanderhjelm</i> въ 1768 г.	85700 км.;
" въ 1798 г.	1000 км.
<i>Schröter</i> въ 1795 г.	10000 км.
<i>Laplace</i> въ 1796 г.	42000 км.
<i>Ritter</i>	изъ термодинамическихъ выкладокъ получилъ — 850 км.
<i>Хладний</i>	замѣтилъ красное накаливаніе мѣсяца — ровно на высотѣ 800 км., а <i>Дальер</i> — на высотѣ — 200 км.

Высоту атмосферы можно опредѣлять различными путями. Рассмотримъ *оптический способъ*.

При заходѣ солнца, на противоположной сторонѣ отъ него, получается темно-сѣрый сегментъ — тѣнь земного шара. Наблюдая высоту тѣни и зная насколько солнце опускается ниже горизонта, можно найти высоту атмосферы. Представимъ (черт. 8) землю окруженную атмосферой и пусть солнце скрылось за выпуклостью земли. До точки *S* доходитъ послѣдній солнечный лучъ. Точка *A* не получаетъ прямого свѣта отъ солнца.

MSA — горизонтъ мѣсяца. Изъ чертежа ясно, что, если-бы не было атмосферы, точка *A* лишилась-бы свѣта въ тотъ моментъ, когда солнце опустилось-бы ниже горизонта *MSA*. Присутствіе атмосферы сказывается въ томъ, что точка *A* получаетъ сумеречный свѣтъ, отраженный частицами *MSB*, хотя солнце находится и ниже горизонта, уголъ *MCS* равный α . Пусть χ — угловое разстояніе границы луча свѣта отъ зенита; h — высота



Черт. 3.

атмосферы, $\angle SOB = \beta$, $\angle BOA = \gamma$.

Предполагая радиус земли равным r , из треугольника SBO найдем:

$$\cos \beta = \frac{r}{r+h} \quad (1)$$

Треугольник же OBA дает:

$$\frac{r}{r+h} = \frac{\sin(z-\gamma)}{\sin(180^\circ-z)}$$

Сравнивая эти два отношения, получим:

$$\cos \beta \sin z = \sin(z-\gamma) \quad (2)$$

Из четырехугольника $SOAC$ имеем:

$$90^\circ + (\beta + \gamma) + 90^\circ + (180^\circ - \alpha) = 360^\circ,$$

т.е.

$$\gamma = \alpha - \beta \text{ или } z - \gamma = (z - \alpha) + \beta \quad (2')$$

Поэтому равенство (2) можно переписать так:

$$\cos \beta \sin z = \sin(z-\alpha) \cos \beta + \cos(z-\alpha) \sin \beta. \quad (3)$$

Зная значения α и z можем по

формуле (3) найти:

$$\tan \beta = \frac{\sin z - \sin(z-\alpha)}{\cos(z-\alpha)}.$$

Затем из равенства (2') найдем γ . Зная β и γ легко найти и h — (высоту атмосферы).

Пусть $z = 90^\circ$ (т.е. вся часть небесного свода покрыта тьмой). В этом случае, как нетрудно усмотреть непосредственно из чертежа или из формулы (2), где $z = 90^\circ$, $\beta = \gamma$ и высота атмосферы может быть вычислена по упрощенной формуле. Возьмем формулу (1) и перепишем ее так:

$$\frac{r+h}{r} = \frac{1}{\cos \beta}, \quad \text{т.е.} \quad 1 + \frac{h}{r} = \frac{1}{\cos \beta}.$$

Отсюда:

$$h = r \frac{1 - \cos \beta}{\cos \beta}.$$

Но в случае, когда исчезает последний солнечный луч $\beta = \frac{\alpha}{2}$ и поэтому:

$$h = r \frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

Легко усмотреть, что если мы представим вокруг земли с ее атмосферой небесную сферу и спроектируем на нее солнце, то

$$z = 90^\circ + \alpha, \quad \dots \dots \dots (4)$$

где z — зенитное расстояние солнца в момент исчезновения последнего солнечного луча. По известной формуле найдем:

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t,$$

где t — тот момент, когда исчезает последний солнечный луч, δ —

склонение солнца для соответствующаго момента, а γ - широта мѣста наблюденія. Зная χ по формулѣ (4), найдемъ и α . Такимъ образомъ наблюденія сводятся къ опредѣленію продолжительности сумерекъ. Последній лучъ солнца на горизонтѣ исчезаетъ, когда $\chi = 108^\circ$ отсюда $\alpha = 18^\circ$ а $\beta = 9^\circ$ и высота атмосферы поэтому оказывается равной 80 кил. Если въ атмосферѣ имѣется много водяныхъ паровъ, то отраженіе идетъ интенсивнѣе. Такъ какъ наша атмосфера - мутная среда, поэтому оптическій способъ опредѣленія высоты атмосферы неточенъ, ибо онъ даетъ ту высоту атмосферы, гдѣ воздухъ достаточно плотенъ для отраженія свѣта. Тѣмъ не менѣе имъ начали опредѣлять толщину атмосферы современъ Alhazen'a и Bradley'я. Минимальное значеніе α было получено 16° , а максимальное - 24° .

Допуская $\alpha = 16^\circ$ для высоты атм. найдемъ 64 klm. (Bravais)

" $\alpha = 24^\circ$ " " " " " 142 " (Rothmann)

64 килом. и 142 - это предѣлы толщины атмосферы по оптическому способу. Если возьмемъ среднее значеніе (изъ этихъ двухъ данныхъ), а именно 20° , то найдемъ, что $h = 98$ кил.

Высоту атмосферы можно опредѣлить по наблюденіямъ лунныхъ затменій, когда дискъ луны покрывается тѣнью земли. Bödicker нашелъ, что еще за 3 мин. до начала затменія начинается уменьшеніе яркости луны. Это приписываютъ вліянію атмосферы земли, задерживающей лучи солнца и уменьшающей ихъ яркость. Вычисленія дали для высоты атмосферы земли 300 кил. Повторяя его наблюденія, находятъ величины отъ 200 до 300 кил.

Кромѣ этихъ способовъ существуютъ и другіе; напримѣръ, *наблюденія надъ падающими звѣздами*. Последнія представляютъ собою темныя небесныя тѣла, попадающія въ нашу атмосферу съ космической скоростью и загорающіяся въ ней на той высотѣ, гдѣ воздухъ достаточно плотенъ. Мы уже указали, что Хладній замѣтилъ красное накаливаніе уже на высотѣ въ 300 килом.

Въ заключеніе укажемъ на то, что существуютъ еще нѣкоторыя указанія для сужденія о высотѣ атмосферы. Это - облака. Лѣтнія кучевныя облака находятся на высотѣ около пяти верстъ; поэтому на такой высотѣ атмосфера должна быть достаточно плотной. Наиболѣе высокими облаками являются перистыя, которыя плаваютъ на высотѣ до 13 верстъ. Послѣ изверженія вулкана Кракатау въ атмосферѣ появились серебристыя облака, которыя находились на очень большой высотѣ. Для нихъ нашли среднюю высоту въ 83 килом. Другими словами серебристыя облака плавали на высотѣ, получаемой оптическимъ методомъ. Максимальная высота для серебристыхъ облаковъ была найдена въ 140 кил.

Всѣ эти разные способы, опредѣляющіе высоту атмосферы, указываютъ