

Химия окружающей среды

Лекция 2.

Химический состав атмосферы

1. Экологическое значение атмосферы

Экологическая роль атмосферы исключительно важна и многообразна. Ее экологические функции как прямые, так и косвенные. Атмосфера снабжает биосферу необходимым для дыхания кислородом. Углекислота, кислород и азот из атмосферы служат исходным строительным материалом для всех организмов. Атмосфера играет роль распределителя пресной воды. Это щит от многих напастей из вне: защищает всё живое от перегрева летом и днем, защищает от холода зимой и ночью, защищает от коротковолнового ультрафиолетового и ионизирующего излучения, защищает от метеоритов. Она прозрачна для солнечной энергии, но при этом определенным образом фильтрует и перераспределяет ее более равномерно по поверхности земли.

Далее рассмотрим механизмы главных из этих функций.

Парниковый и тепловой эффект

Почти вся достигшая Земли солнечная энергия, в конечном счете, возвращается в космическое пространство в виде тепловой отдачи, но это происходит не сразу, предварительно она растрачивается на разные виды работы (табл.1).

Таблица 1

Распределение солнечной энергии, падающей на землю				
Отражается в космическое пространство	Поглощается и переходит в тепловую энергию	Расходуется на круговорот воды	Расходуется на движение воздуха (ветер)	Расходуется на фотосинтез
30%	47%	23%	0,2%	0,02%

Атмосфера прозрачна для основной части солнечного спектра – видимого и полезного нам белого света. Тепловая (инфракрасная) часть излучения поглощается молекулами так называемых парниковых газов: водяного пара H_2O , метана CH_4 , диоксида углерода CO_2 . Если бы парникового эффекта не было, средняя температура на нашей планете составляла бы не плюс 15°C , как сейчас, а минус $25\text{--}27^\circ\text{C}$. Как видим разница на 40 градусов и это весьма существенно.

Другой тепловой эффект – в сглаживании ночных и дневных температур, освещенных и затененных участков. На Луне, где, как известно, атмосферы нет, освещенная поверхность нагревается до $+107^\circ\text{C}$, а ночью охлаждается до минус 153°C . Водяной пар из парниковых газов количественно преобладает, к тому же он способен концентрироваться в атмосфере в определенные моменты и мы наблюдаем это как появление облачности – от небольшой до сплошной. Именно в облачную погоду и при тумане ночные и дневные температуры не так сильно различаются как в ясную. Чтобы спасти весной цветущие деревья от ночных заморозков опытные садоводы вечером не только дымокурят, но и распыляют влагу в садах. Также работает и атмосфера – она одеяло планеты, это ее тепловой коллектор.

Ультрафиолетовое и рентгеновское излучение

Эти виды излучений исходят в основном от верхних слоев хромосферы и короны Солнца. Это установили, запуская ракеты с приборами во время солнечных затмений. Очень горячая солнечная атмосфера всегда испускает невидимое коротковолновое излучение, но особенно мощным оно бывает в годы максимума солнечной активности. В это время ультрафиолетовое излучение возрастает примерно в два раза, а рентгеновское – в десятки и сотни раз по сравнению с излучением в годы минимума. Интенсивность коротковолнового излучения изменяется изо дня в день, резко возрастая, когда на Солнце происходят вспышки. Ультрафиолетовое и рентгеновское излучения частично ионизуют слои

земной атмосферы, образуя на высотах 200 – 500 км от поверхности Земли ионосферу. Ионосфера играет важную роль в осуществлении дальней радиосвязи: радиоволны, идущие от радиопередатчика, прежде чем достичь антенны приемника, многократно отражаются от ионосферы и поверхности Земли. Состояние ионосферы меняется в зависимости от условий освещения ее Солнцем и от происходящих на нем явлений. Поэтому для обеспечения устойчивой радиосвязи приходится учитывать время суток, время года и состояние солнечной активности. После наиболее мощных вспышек на Солнце число ионизированных атомов в ионосфере возрастает и радиоволны частично или полностью поглощаются ею. Это приводит к ухудшению и даже к прекращению радиосвязи.

Особое влияние ученые уделяют исследованию озонового слоя в земной атмосфере. Озон образуется в результате фотохимических реакций (поглощение света молекулами кислорода) в стратосфере, и там рассосредоточена его основная масса. Всего в земной атмосфере примерно $3 \cdot 10^9$ т озона. Это очень мало: если его собрать в единый слой, толщина слоя чистого озона у поверхности Земли не превысила бы и 3 мм! Но роль озонового слоя, простирающегося на высоте нескольких десятков километров над поверхностью Земли, исключительно велика, потому что он защищает все живое от воздействия опасного коротковолнового (и, прежде всего, ультрафиолетового) излучения Солнца. Содержание озона непостоянно на разных широтах и в разные времена года. Оно может уменьшаться (иногда очень значительно) в результате различных природных и, как полагают некоторые исследователи, техногенных процессов.

Области резкого снижения уровня озона (“озоновые дыры”) обнаруживались над разными регионами нашей планеты, причем в основном над полюсами. В «мутные» 90 гг. стали появляться сообщения об истощении озонового слоя над севером европейской части России и уменьшении содержания озона над Москвой и Санкт-Петербургом (а раньше, что этого не было?). Некоторые ученые, якобы осознавая глобальный

характер проблемы, организуют в масштабах всей планеты экологические исследования, в форме глобальной системы непрерывного наблюдения за состоянием озонового слоя. Разработаны и подписаны международные соглашения по охране озонового слоя и, главное, ограничению производства озоноразрушающих веществ, например, такого хладореагента как фреон. Есть мнение, что это была спланированная дезинформация определенных промышленных кругов, как прием конкурентной борьбы.

Атмосфера не только защищает нас от космического излучения, но и от более крупных небесных тел – метеоритов и болидов, большинство из которых просто сгорают в атмосфере, не достигая земной поверхности.

Атмосфера и геологические процессы

Все происходящие на Земле так называемые гипергенные или экзогенные процессы прямо или косвенно определяются свойствами атмосферы. Она влияет на погоду, климат, рельеф, через них на интенсивность выветривания, эрозию, эоловый перенос и осадконакопление, на жизнедеятельность многочисленных организмов. Однако и на состав атмосферы эти процессы в виде обратной связи также оказывают влияние. Она постоянно пополняется вулканическими газами в вулканических областях, но и за их пределами наблюдается дегазация недр, почвенного слоя, гидросферы.

Атмосферные параметры как экологические нормы

Большая часть биологических видов в ходе эволюции приспособилась жить в условиях, которые в значительной степени определяются динамикой и химическим составом наземной атмосферы. Всё живое на суше давно приспособилось к определенному составу и давлению атмосферного столба. Вследствие падения общего давления атмосферы по мере подъёма на высоту соответственно снижается и парциальное давление кислорода. В лёгких человека постоянно содержится около 3 л альвеолярного воздуха. [Парциальное давление](#) кислорода в альвеолах наших легких при нормальном атмосферном давлении составляет 110 мм рт. ст., давление углекислого газа

— 40 мм рт. ст., а паров воды — 47 мм рт. ст. С увеличением высоты давление кислорода падает, в то время как суммарное давление паров воды и углекислоты в лёгких остаётся почти постоянным — около 87 мм рт. ст. Поступление кислорода в лёгкие полностью прекратится, когда атмосферное давление окружающего воздуха станет равным этой величине. На высоте около 19—20 км давление атмосферы снижается до 47 мм рт.ст. Поэтому на данной высоте начинается кипение воды в межтканевой жидкости. Вне герметической кабины на этих высотах смерть наступает почти мгновенно. Таким образом, с точки зрения физиологии «космос» для человека начинается уже на высоте 15-19 км.

По мере подъёма на все большую высоту постепенно ослабляются, а затем и полностью исчезают такие привычные для нас явления, как распространение звука, возникновение аэродинамической подъёмной силы и ветер. На высотах выше 100 км атмосфера лишена и другого замечательного свойства — способности поглощать, проводить и передавать тепловую энергию путём конвекции (т.е. с помощью перемешивания воздуха). Это значит, что различные элементы оборудования, аппаратуры орбитальной космической станции не смогут охлаждаться снаружи так, как это делается обычно на самолёте, — с помощью воздушных струй и воздушных радиаторов. На такой высоте, как и вообще в космосе, единственным способом передачи тепла является радиационное излучение Солнца.

Атмосфера — самый маленький по своей массе из всех геосферных оболочек, она составляет менее $10^{-5}\%$ ее массы. Но именно ограниченные размеры делают атмосферу такой чувствительной к загрязнению. За счет вращения Земли и резкого перепада температуры с высотой воздух атмосферы очень быстро перемешивается и загрязнение приобретает глобальный характер. К счастью, атмосфера, обладает способностью и к самоочищению. Как оболочка, состоящая из газов, она является областью наиболее интенсивной миграции составляющих ее компонентов. И это

решающий фактор в глобальном загрязнении биосферы планеты. Всякие выбросы в атмосферу очень быстро распространяются вокруг земного шара.

2. Химическая стратификация атмосферы

Воздух земной атмосферы это в первую очередь смесь газов, в которой имеются как постоянные, так и переменные составляющие. Несмотря на абсолютное количественное доминирование всего лишь двух газов азота и кислорода, атмосфера имеет достаточно сложный и разнообразный видовой состав компонентов. Помимо газов в ней присутствуют твердые и жидкие фазы. В чем особенности атмосферного воздуха? Обладая плотностью, почти в сто раз меньшей, чем у воды, он очень подвижен и легко перемешивается, поэтому химический состав его хорошо выдержан до высоты 90-100км. Поэтому нижняя, прилегающая к земной поверхности часть атмосферы и называется *гомосфера*. Плотность гомосферы с высотой довольно быстро уменьшается так, что 99 % ее массы заключено уже до высоты 29 км, хотя устойчивость количественных соотношений между газами сохраняется еще до высоты порядка 80- 100км.

Химический состав гомосферы определяется присутствием четырех постоянных ее компонентов, составляющих более 99,9% ее массы – азота, кислорода, аргона и углекислого газа. Из постоянных компонентов на долю азота приходится 78,084 об%, на долю кислорода 20,946, на долю аргона 0,934%, на углекислоту 0,033%, а вот на долю других приходятся жалкие крохи – миллионные доли процента (инертные газы, водород, метан, окислы азота, серы).

Из переменных по содержанию компонентов наиболее заметной составляющей атмосферы является водяной пар (до нескольких процентов или долей процента) и твердые частицы.

Земная атмосфера неоднородна по вертикали. По химическому составу всего в атмосфере выделяется всего *пять оболочек*. Нижняя называется гомосферой, а верхние четыре составляют ее *гетеросферу*.

Ниже в таблице 2 приводятся количественные характеристики

гомосферы, а на рис.2 схема физической и химической стратификации всей атмосферы

Таблица 2

Состав атмосферы (гомосферы) Земли (без H ₂ O)			
Элементы и соединения	Содержание		Общая масса, г
	об. %	вес. %	
Главные компоненты			
N ₂	78,084	75,51	3,865 · 10 ²¹
O ₂	20,946	23,15	1,184 · 10 ²¹
Второстепенные компоненты			
Ar	0,934	1,28	65,5 · 10 ¹⁸
CO ₂	0,033	0,046	2,33 · 10 ¹⁸
	99,997	99,986	
Микрокомпоненты			
Ne	182 · 10 ⁻⁵	125 · 10 ⁻⁵	63,6 · 10 ¹⁵
He	53 · 10 ⁻⁵	7,2 · 10 ⁻⁵	3,7 · 10 ¹⁵
Kr	12 · 10 ⁻⁵	29 · 10 ⁻⁵	14,6 · 10 ¹⁵
Xe	0,9 · 10 ⁻⁵	3,6 · 10 ⁻⁵	1,8 · 10 ¹⁵
H ₂	5 · 10 ⁻⁵	0,3 · 10 ⁻⁵	0,2 · 10 ¹⁵
Ксенокомпоненты			
CH ₄	15 · 10 ⁻⁵	9 · 10 ⁻⁵	4,3 · 10 ¹⁵
N ₂ O	5 · 10 ⁻⁵	7,6 · 10 ⁻⁵	4,0 · 10 ¹⁵
O ₃	4 · 10 ⁻⁵	6 · 10 ⁻⁵	3,1 · 10 ¹⁵
Rn	4,5 · 10 ⁻¹⁷	6 · 10 ⁻¹⁸	2,32 · 10 ²

Примечания. 1. Кроме указанных элементов в гомосфере Земли присутствуют (в мкг/м³): SO₂ 2; H₂S 3—30; F 0,05; Cl 1—5; Br 2; I 0,1; Hg 0,001—0,01; пары воды присутствуют в переменных количествах. 2. Содержание озона увеличивается с высотой.

В гетеросфере состав атмосферного воздуха значительно меняется с высотой вследствие фотодиссоциации газовых молекул кислорода (под влиянием космического излучения, коротковолновой части солнечного спектра) и приближения к условиям диффузного расслоения.

На высотах 100-240 км расположен слой *молекулярного азота* лишь с небольшой примесью молекулярного кислорода. Второй слой на высотах 240- 960 км состоит из *атомарного кислорода*. Далее, до 2400 (3500) км прослеживается *гелиевый слой*. Выше он сменяется *водородным слоем*, в

котором преимущественную роль играют атомы водорода. Условной верхней границей водородного слоя считают высоту 10 000 км,

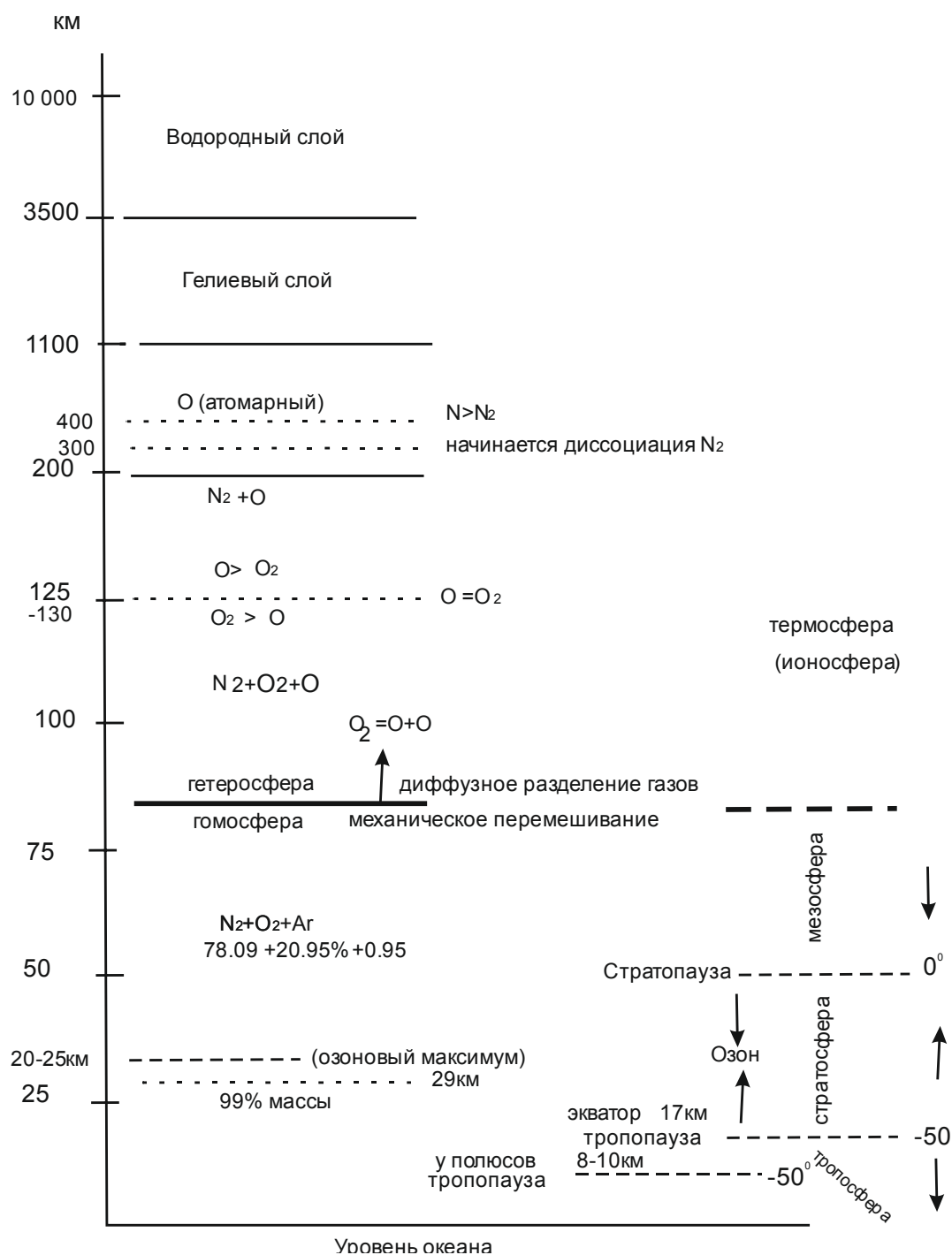


Рис.1 Схема химической и физической стратификации земной атмосферы

3. Причины стратификации атмосферы

Атмосфера также расслоена и по физическим свойствам, а именно по температуре и парциальному давлению разных ее газовых составляющих (см. рис.1).

Основное значение для биосферы имеет ее нижний физический слой – тропосфера и присутствие озона в стратосфере, хотя он в ней буквально размазан по молекулам, а озоновый максимум наблюдается в пределах 20-25км. Почему же атмосфера делится на такие слои? Объясняется это рядом причин. Во-первых, плотность воздуха уменьшается с высотой. Во-вторых, солнечные лучи, несущие тепло, проникают через атмосферу, нагревают земную поверхность и уже от нее тепло распространяется вверх на всю атмосферу. В-третьих, атмосфера поглощает часть солнечного излучения, особенно поток летящих от Солнца частиц, и поэтому верхние части атмосферы находятся под воздействием этого излучения, а нижние — защищены от них. И, наконец, тепло в атмосфере распространяется двумя различными способами: перемешиванием воздуха и тепловым излучением его частиц. Причем в плотном воздухе преобладает первый способ, а в разреженном —второй.

Тропосфера непосредственно соприкасается с нагревателем — земной поверхностью. Плотность воздуха в ней наибольшая, и тепло распространяется преимущественно перемешиванием воздуха, опусканием и подъемом его частиц. Когда воздух поднимается, он попадает в слои с меньшим атмосферным давлением и расширяется. Теоретически при расширении воздуха его температура понижается на 10°C на 1 км подъема. При опускании воздуха его температура, наоборот, повышается на ту же величину – 10°C на 1 км. Значит, уже за счет таких подъемов и опусканий воздуха в тропосфере температура с высотой должна падать. Но более теплые частицы легче холодных, они чаще поднимаются, а более холодные — чаще опускаются. Поэтому оказывается, что температура в тропосфере падает с высотой не на 10° на каждый километр, а в среднем на $5-6^{\circ}\text{C}$.

В стратосфере, где плотность воздуха невелика, его потоки не могут переносить много тепла. Здесь тепло переносится излучением — невидимыми тепловыми лучами. Каждое тело излучает тепло, и тем сильнее, чем выше его температура. Мы ощущаем такие лучи, идущие от стенки нагретой печки. Если поставить друг перед другом нагретый и холодный предметы, то нагретый будет охлаждаться, а холодный — нагреваться, пока их температура не сравняется. То же самое происходит в стратосфере, где все слои излучают тепло вниз и вверх и тем самым поддерживают одинаковую температуру.

В ионосферу, где воздух очень разрежен, проникают несущиеся от Солнца с огромной скоростью электрически заряженные частицы, которые бомбардируют и электризуют частицы воздуха. Наэлектризованный слой оказывается способным проводить электричество и сильно влияет на распространение коротких радиоволн — он отражает их вниз к Земле. Отражаясь попеременно то от ионосферы, то от земной поверхности, короткие радиоволны оббегают весь земной шар — в этом секрет дальнего действия.