

ОСНОВЫ АЭРОДИНАМИКИ ВЕТРОТУРБИН

Лектор: Байжұма Жандос Ескендірұлы

Тел.: +7 707 556 60 08

Email: zhandos.baizhuma@kaznu.edu.kz

Лекция4

Тема. Состав атмосферы. Эволюция газового состава атмосферного воздуха. Происхождение и эволюция атмосферы (по В.А. Вронскому и Г.В. Войткувичу). Вертикальное строение атмосферы. Горизонтальная структура атмосферы.

Цель: Познакомить студентов с химическим составом земной атмосферы, этапами её формирования и эволюции, рассмотреть вертикальное и горизонтальное строение атмосферы, а также роль отдельных компонентов в биосферных и климатических процессах.

Основные вопросы:

1. Понятие атмосферы и её значение для Земли.
2. Современный состав атмосферного воздуха.
3. Эволюция и происхождение атмосферы (по В.А. Вронскому и Г.В. Войткувичу).
4. Основные этапы изменения газового состава атмосферы.
5. Вертикальное строение атмосферы и характеристика её слоёв.
6. Горизонтальная структура атмосферы и пространственная неоднородность.

Краткие тезисы:

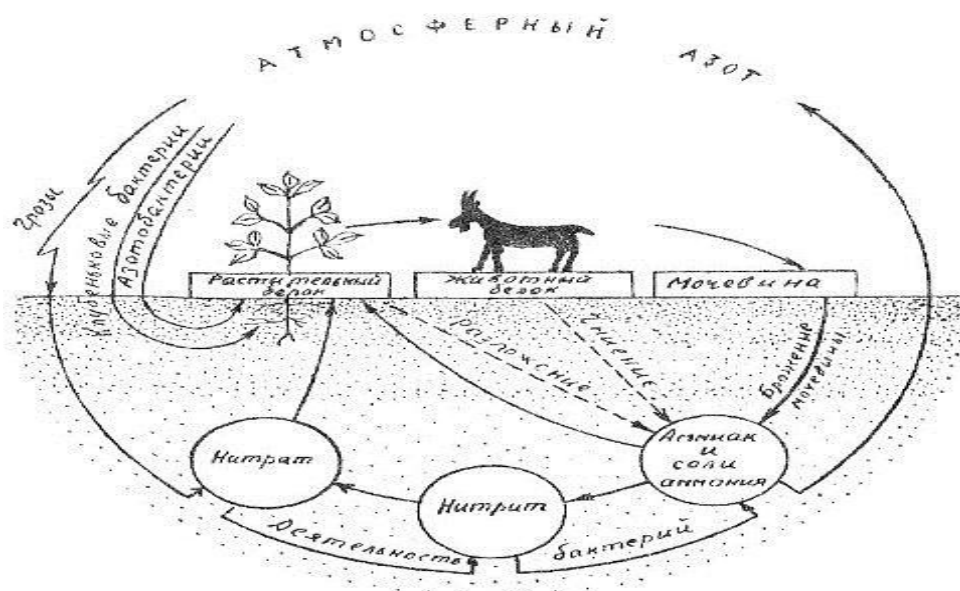
- **Атмосфера** — газовая оболочка Земли, простирающаяся до 3000 км (следы — до 10 000 км).
- **Основные газы:**
 - Азот (78%) — разбавитель кислорода, регулирует окислительные процессы.
 - Кислород (21%) — необходим для дыхания и горения.
 - Аргон (0,93%), углекислый газ (0,04%), неон, гелий, метан, озон и др. — инертные или активные примеси.
- **Распределение массы:**
 - 50% массы атмосферы — до 5 км,
 - 75% — до 10 км,
 - 90% — до 16 км.

Атмосфера – это воздушная оболочка Земли. Простирающаяся вверх на 3000 км от земной поверхности. Ее следы прослеживаются до высоты до 10 000 км. А. имеет неравномерную плотности 50 5 ее массы сосредоточены до 5 км, 75 % – до 10 км, 90 % до 16 км. Атмосфера состоит из воздуха – механической смеси нескольких газов.

Азот (78 %) в атмосфере играет роль разбавителя кислорода, регулируя темп окисления, а, следовательно, скорость и напряженность биологических процессов. Азот – главный элемент земной атмосферы, который непрерывно обменивается с живым веществом биосферы, причем составными частями последнего служат соединения азота (аминокислоты, пурины и др.). Извлечение азота из атмосферы происходит неорганическим и биохимическим путями, хотя они тесно взаимосвязаны. Неорганическое извлечение

связано с образованием его соединений N_2O , N_2O_5 , NO_2 , NH_3 . Они находятся в атмосферных осадках и образуются в атмосфере под действием электрических разрядов во время гроз или фотохимических реакций под влиянием солнечной радиации.

Биологическое связывание азота осуществляется некоторыми бактериями в симбиозе с высшими растениями в почвах. Азот также фиксируется некоторыми микроорганизмами планктона и водорослями в морской среде. В количественном отношении биологическое связывание азота превышает его неорганическую фиксацию. Обмен всего азота атмосферы происходит примерно в течение 10 млн. лет. Азот содержится в газах вулканического происхождения и в изверженных горных породах. При нагревании различных образцов кристаллических пород и метеоритов азот освобождается в виде молекул N_2 и NH_3 . Однако главной формой присутствия азота, как на Земле, так и на планетах земной группы, является молекулярная. Аммиак, попадая в верхние слои атмосферы, быстро окисляется, высвобождая азот. В осадочных горных породах он захороняется совместно с органическим веществом и находится в повышенном количестве в битуминозных отложениях. В процессе регионального метаморфизма этих пород азот в различной форме выделяется в атмосферу Земли.



Геохимический круговорот азота (В.А. Вронский, Г.В. Войткевич)

Кислород (21 %) используется живыми организмами для дыхания, входит в состав органического вещества (белки, жиры, углеводы). Озон O_3 задерживает губительную для жизни ультрафиолетовую радиацию Солнца.

Кислород – второй по распространению газ атмосферы, играющий исключительно важную роль во многих процессах биосферы. Господствующей формой его существования является O_2 . В верхних слоях атмосферы под влиянием ультрафиолетовой радиации происходит диссоциация молекул кислорода, а на высоте примерно 200 км отношение атомарного кислорода к молекулярному ($O : O_2$) становится равным 10. При взаимодействии этих форм кислорода в атмосфере (на высоте 20-30 км) возникает озоновый пояс (озоновый экран). Озон (O_3) необходим живым организмам, задерживая губительную для них большую часть ультрафиолетовой радиации Солнца.

Содержание свободного кислорода в земной атмосфере отражает баланс между его фотосинтезирующей продукцией и процессами поглощения (окисление органики, деструкция вещества мертвых организмов). Расчеты показывают, что кислород в атмосфере Земли обновляется в течение 3-4 тыс. лет, т.е. относится к весьма мобильным компонентам газовой оболочки.

На ранних этапах развития Земли свободный кислород возникал в очень малых количествах в результате фотодиссоциации молекул углекислого газа и воды в верхних слоях атмосферы. Однако эти малые количества быстро расходовались на окисление других газов. С появлением в океане автотрофных фотосинтезирующих организмов положение существенно изменилось. Количество свободного кислорода в атмосфере стало прогрессивно возрастать, активно окисляя многие компоненты биосферы. Так, первые порции свободного кислорода способствовали прежде всего переходу закисных форм железа в окисные, а сульфидов в сульфаты.

В конце концов количество свободного кислорода в атмосфере Земли достигло определенной массы и оказалось сбалансированным таким образом, что количество производимого стало равно количеству поглощаемого. В атмосфере установилось относительное постоянство содержания свободного кислорода.



Геохимический круговорот кислорода (В.А. Вронский, Г.В. Войткевич)

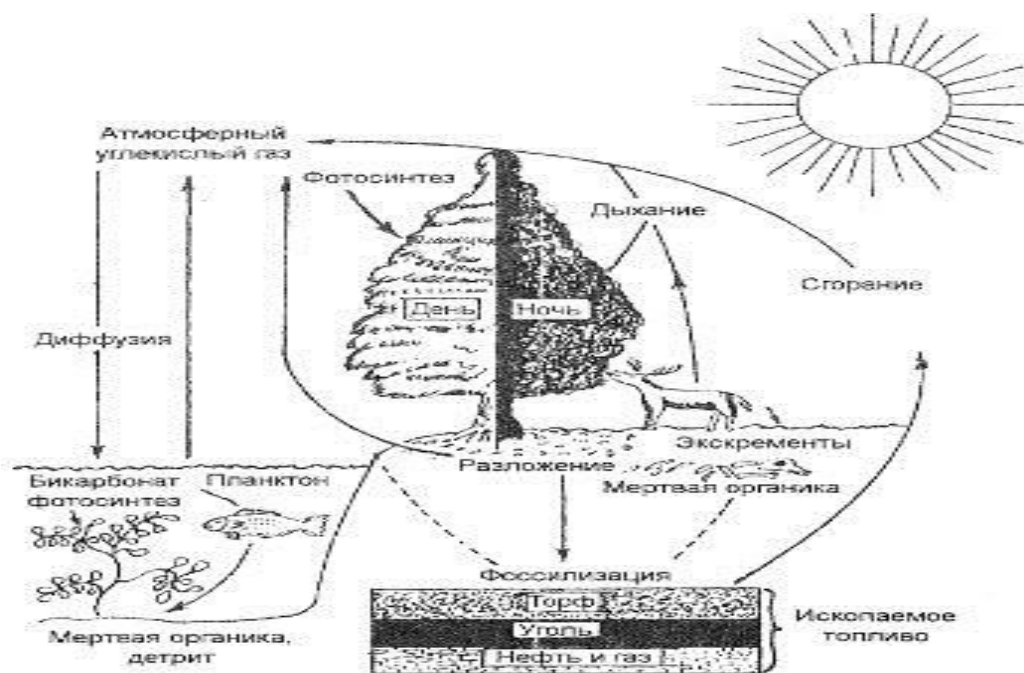
Углекислый газ, идет на образование живого вещества, а вместе с водяным паром создает так называемый «оранжерейный (парниковый) эффект».

Углерод (углекислота) – его большая часть в атмосфере находится в виде CO_2 и значительно меньшая в форме CH_4 . Значение геохимической истории углерода в биосфере исключительно велико, поскольку он входит в состав всех живых организмов. В пределах живых организмов преобладают восстановленные формы нахождения углерода, а в окружающей среде биосферы – окисленные. Таким образом, устанавливается химический обмен жизненного цикла: CO_2 - живое вещество.

Источником первичной углекислоты в биосфере является вулканическая деятельность, связанная с вековой дегазацией мантии и нижних горизонтов земной коры. Часть этой углекислоты возникает при термическом разложении древних известняков в различных зонах метаморфизма. Миграция CO_2 в биосфере протекает двумя способами.

Первый способ выражается в поглощении CO_2 в процессе фотосинтеза с образованием органических веществ и в последующем захоронении в благоприятных восстановительных условиях в литосфере в виде торфа, угля, нефти, горючих сланцев. По второму способу миграция углерода приводит к созданию карбонатной системы в гидросфере, где CO_2 переходит в H_2CO_3 , HCO_3^{-1} , CO_3^{-2} . Затем с участием кальция (реже магния и железа) происходит осаждение карбонатов биогенным и абиогенным путем. Возникают мощные толщи известняков и доломитов. По оценке А.Б. Ронова, соотношение органического углерода ($\text{C}_{\text{орг}}$) к углероду карбонатному ($\text{C}_{\text{карб}}$) в истории биосферы составляло 1:4.

Наряду с глобальным круговоротом углерода существует еще ряд его малых круговоротов. Так, на суше зеленые растения поглощают CO_2 для процесса фотосинтеза в дневное время, а в ночное – выделяют его в атмосферу. С гибелью живых организмов на земной поверхности происходит окисление органических веществ (с участием микроорганизмов) с выделением CO_2 в атмосферу. В последние десятилетия особое место в круговороте углерода занимает массовое сжигание ископаемого топлива и возрастание его содержания в современной атмосфере.



Круговорот углерода в географической оболочке (по Ф. Рамаду, 1981)

Аргон – третий по распространению атмосферный газ, что резко отличает его от крайне скудно распространенных других инертных газов. Однако аргон в своей геологической истории разделяет судьбу этих газов, для которых характерны две особенности:

1. необратимость их накопления в атмосфере;
2. тесная связь с радиоактивным распадом определенных неустойчивых изотопов.

Инертные газы находятся вне круговорота большинства циклических элементов в биосфере Земли.

Все инертные газы можно подразделить на первичные и радиогенные. К первичным относятся те, которые были захвачены Землей в период ее образования. Они распространены крайне редко. Первичная часть аргона представлена преимущественно изотопами ^{36}Ar и ^{38}Ar , в то время как атмосферный аргон состоит полностью из изотопа ^{40}Ar (99,6%), который, несомненно, является радиогенным. В калийсодержащих породах происходило и происходит накопление радиогенного аргона за счет распада калия-40 путем электронного захвата: $^{40}\text{K} + e > ^{40}\text{Ar}$.

Поэтому содержание аргона в горных породах определяется их возрастом и количеством калия. В такой мере концентрация гелия в породах служит функцией их возраста и содержания тория и урана. Аргон и гелий выделяются в атмосферу из земных недр во время вулканических извержений, по трещинам в земной коре в виде газовых струй, а также при выветривании горных пород. Согласно расчетам, выполненным П. Даймоном и Дж. Калпом, гелий и аргон в современную эпоху накапливаются в земной коре и в сравнительно малых количествах поступают в атмосферу. Скорость поступления этих радиогенных газов настолько мала, что не могла в течение геологической истории Земли обеспечить наблюдаемое содержание их в современной атмосфере. Поэтому остается предположить, что большая часть аргона атмосферы поступила из недр Земли на самых ранних этапах ее развития и значительно меньшая добавилась впоследствии в процессе вулканизма и при выветривании калийсодержащих горных пород.

Таким образом, в течение геологического времени у гелия и аргона были разные процессы миграции. Гелия в атмосфере весьма мало (около $5 \cdot 10^{-4}\%$), причем «гелиевое дыхание» Земли было более облегченным, так как он, как самый легкий газ, улетучивался в космическое пространство. А «аргоновое дыхание» – тяжелым и аргон оставался в пределах нашей планеты. Большая часть первичных инертных газов, как неон и ксенон, была связана с первичным неоном, захваченным Землей в период ее образования, а также с выделением при дегазации мантии в атмосферу. Вся совокупность данных по геохимии благородных газов свидетельствует о том, что первичная атмосфера Земли возникла на самых ранних стадиях своего развития.

В атмосфере содержится и **водяной пар** и **вода** в жидком и твердом состоянии. Вода в атмосфере является важным аккумулятором тепла.

В нижних слоях атмосферы содержится большое количество минеральной и техногенной пыли и аэрозолей, продуктов горения, солей, спор и пыльцы растений и т.д.

До высоты 100-120 км, вследствие полного перемешивания воздуха состав атмосферы однороден. Соотношение между азотом и кислородом постоянно. Выше преобладают инертные газы, водород и др. В нижних слоях атмосферы находится водяной пар. С удалением от земли содержание его падает. Выше соотношение газов изменяется, например на высоте 200-800 км, кислород преобладает над азотом в 10-100 раз.

Первичная атмосфера Земли состояла главным образом из водяных паров, водорода и аммиака. Под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца водяные пары разлагались на водород и кислород. Водород уходил в космическое пространство, кислород вступал в реакцию с аммиаком и образовывались азот и вода. В начале геологической истории Земля благодаря магнитосфере, изолировавшей её от солнечного ветра, создала вторичную собственную углекислую атмосферу. Углекислый газ поступал из недр при интенсивных вулканических извержениях. С появлением в конце палеозоя зеленых растений кислород стал поступать в атмосферу в результате разложения углекислого газа при фотосинтезе, и состав атмосферы принял современный вид. Современная атмосфера в значительной степени продукт живого вещества биосферы. Полное обновление кислорода планеты живым веществом происходит за 5200-5800 лет. Вся его масса усваивается живыми организмами приблизительно за 2 тыс. лет, вся углекислота – за 300-395 лет.

Состав первичной и современной атмосферы Земли

Газы	Состав земной атмосферы	
	При образовании*	В настоящее время
Азот N ₂	1,5	78
Кислород O ₂	0	21
Озон O ₃	-	10^{-5}
Углекислый газ CO ₂	98	0,03
Оксид углерода CO	-	10^{-4}
Водяной пар	0,4	0,1
Аргон Ar	0,19	0,93

Также в первичной атмосфере присутствовали метан, аммиак, водород и др. Свободный кислород появился в атмосфере 1,8-2 млрд. л.н.

Эволюция газового состава атмосферного воздуха

Первичная атмосфера Земли состояла главным образом из водяных паров, водорода и аммиака. Под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца водяные пары разлагались на водород и кислород. Водород в значительной части уходил в космическое пространство, кислород вступал в реакцию с аммиаком и образовывались азот и вода. В начале геологической истории Земля благодаря магнитосфере, изолировавшей её от солнечного ветра, создала вторичную собственную углекислую атмосферу. Углекислый газ поступал из недр при интенсивных вулканических извержениях. С появлением в конце палеозоя зеленых растений кислород стал поступать в атмосферу в результате разложения углекислого газа при фотосинтезе, и состав атмосферы принял современный вид. Современная атмосфера в значительной степени продукт живого вещества биосферы. Полное обновление кислорода планеты живым веществом происходит за 5200-5800 лет. Вся его масса усваивается живыми организмами приблизительно за 2 тыс. лет, вся углекислота – за 300-395 лет.

Состав первичной и современной атмосферы Земли

Газы	Состав земной атмосферы	
	При образовании*	В настоящее время
Азот N ₂	1,5	78
Кислород O ₂	0	21
Озон O ₃	-	10 ⁻⁵
Углекислый газ CO ₂	98	0,03
Оксид углерода CO	-	10 ⁻⁴
Водяной пар	0,4	0,1
Аргон Ar	0,19	0,93

Также в первичной атмосфере присутствовали метан, аммиак, водород и др. Свободный кислород появился в атмосфере 1,8-2 млрд. л.н.

Происхождение и эволюция атмосферы (по В.А. Вронскому и Г.В. Войткувичу)

Еще при первоначальном радиоактивном разогреве молодой Земли происходило выделение летучих веществ на поверхность, образовавших первичный океан и первичную атмосферу. Можно допустить, что первичная атмосфера нашей планеты по составу была близка к составу метеоритных и вулканических газов. В какой-то мере первичная атмосфера (содержание CO₂ составляло 98%, аргона – 0,19%, азота – 1,5%) была аналогична атмосфере Венеры – планеты, которая по размерам наиболее близка к нашей планете.

Первичная атмосфера Земли имела восстановительный характер и была практически лишена свободного кислорода. Только незначительная его часть возникала в верхних слоях атмосферы в результате диссоциации молекул углекислого газа и воды. В настоящее время утвердилось общее мнение о том, что на определенном этапе развития Земли ее углекислая атмосфера перешла в азотно-кислородную. Однако остается неясным вопрос относительно времени и характера этого перехода – в какую эпоху истории биосферы произошел перелом, был ли он быстрым или постепенным.

В настоящее время получены данные о наличии свободного кислорода в докембрии. Присутствие высокоокисленных соединений железа в красных полосах железных руд докембрия свидетельствуют о наличии свободного кислорода. Увеличение его содержания в течение всей истории биосферы определялось путем построения соответствующих моделей различной степени достоверности (А.П. Виноградов, Г. Холленд, Дж. Уолкер, М. Шидловский и др.). По мнению А.П. Виноградова, состав атмосферы изменялся непрерывно и регулировался как процессами дегазации мантии, так и физико-химическими факторами, которые имели место на поверхности Земли, включая остывание и соответственно снижение температуры окружающей среды. Химическая эволюция атмосферы и гидросферы в прошлом была тесно связана в балансе их веществ.

В качестве основы для расчетов прошлого состава атмосферы принимается распространенность захороненного органического углерода, как прошедшего фотосинтетический этап в круговороте, связанный с высвобождением кислорода. При убывании дегазации мантии в течение геологической истории, общая масса осадочных горных пород постепенно приближалась к современной. При этом 4/5 углерода захоронялось в карбонатных породах, а 1/5 приходилась на органический углерод осадочных толщ. Исходя из этих предпосылок немецкий геохимик М. Шидловский рассчитал рост содержания свободного кислорода в течение геологической истории Земли. При этом было установлено, что примерно 39% всего кислорода, выделившегося при фотосинтезе, оказалось связанным в Fe_2O_3 , 56% сосредоточилось в сульфатах SO_4^{2-} и 5% непрерывно остается в свободном состоянии в атмосфере Земли.

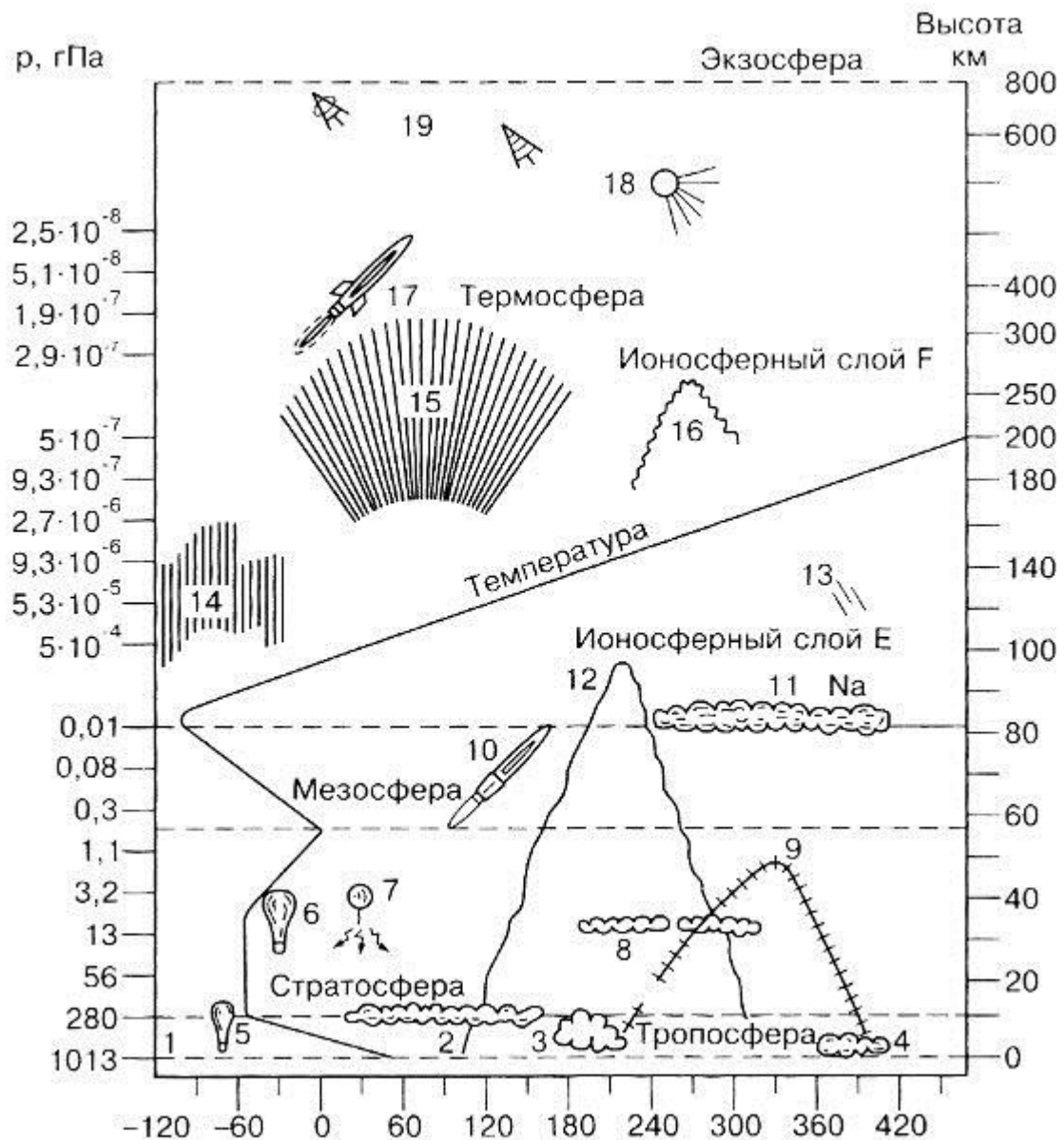
В раннем докембрии практически весь освобожденный кислород быстро поглощался земной корой при окислении, а также вулканическими сернистыми газами первичной атмосферы. Вероятно, что процессы образования полосчатых железистых кварцитов (джеспелитов) в раннем и среднем докембрии привели к поглощению значительной части свободного кислорода от фотосинтеза древней биосферы. Закисное железо в докембрийских морях явилось главным поглотителем кислорода, когда фотосинтезирующие морские организмы поставляли свободный молекулярный кислород непосредственно в водную среду. После того, как докембрийские океаны очистились от растворенного железа, свободный кислород стал накапливаться в гидросфере и затем в атмосфере.

Новый этап в истории биосферы характеризовался тем, что в атмосфере 2000-1800 млн. лет назад отмечалось увеличение количества свободного кислорода. Поэтому окисление железа переместилось на поверхность древних континентов в область коры выветривания, что и привело к формированию мощных древних красноцветных толщ. Поступление двухвалентного железа в океан уменьшилось и соответственно снизилось поглощение свободного кислорода морской средой. Все большее количество свободного кислорода стало поступать в атмосферу, где устанавливалось его постоянное содержание. В общем балансе атмосферного кислорода возросла роль биохимических процессов живого вещества биосферы. Современный этап в истории кислорода атмосферы Земли наступил с появлением растительного покрова на континентах. Это привело к значительному увеличению его содержания по сравнению с древней атмосферой нашей планеты.

Вертикальное строение атмосферы

Атмосфера в вертикальном отношении неоднородна её разделяют на несколько концентрических оболочек: тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу. Друг от друга они отделяются тонкими в 1-2 км толщиной переходными слоями – паузами: тропопаузой, стратопаузой, мезопаузой.

Тропосфера большую мощность имеет на экваторе (17 км), меньшую – на полюсах (8-10 км). С высотой температура понижается и достигает на границе со стратосферой -70°C на широте экватора и -65°C на полюсах. Давление воздуха изменяется от 760 мм рт. ст. на поверхности Земли до 210 мм на верхней границе. Содержит 80% воздуха и почти весь водяной пар.



Строение атмосферы (по С.Г. Любушкиной и др.):

1 - уровень моря; 2 - перистые облака; 3 - кучевые облака; 4 - слоистые облака; 5 - свободный аэростат; 6 - стратостат; 7 - радиозонд; 8 - перламутровые облака; 9 - отражение звуковых волн; 10 - метеорологическая ракета; 11 - серебристые облака; 12 - отражение средних радиоволн; 13 - метеориты; 14 и 15 - полярные сияния; 16 - отражение коротких волн; 17 - геофизическая ракета; 18 - искусственные спутники Земли; 19 - пилотируемые космические корабли.

Стратосфера содержит около 20% воздуха. Падение температуры в ней прекращается, а затем и начинает расти, достигая 0°C - $(+10)^{\circ}\text{C}$ на границе с мезосферой. Концентрация озона в стратосфере максимальна, особенно на высоте 22-27 км. Этот слой называют озоновым. Озоновый слой считают верхней границей биосферы.

В **мезосфере** температура начинает понижаться и на верхней границе падает до -90°C (самая низкая температура в атмосфере). Наблюдаются серебристые облака.

В **термосфере** воздух чрезвычайно разрежен. Температура с высотой растет и на высоте 100 км достигает 0°C . На высоте 200 км она достигает $+500^{\circ}\text{C}$, 600 км – $+1500^{\circ}\text{C}$. Это сфера разреженного ионизированного газа. Электропроводность этой сферы в 10^{12} раз больше, чем у поверхности Земли. Здесь наблюдаются полярные сияния, магнитные бури.

Экзосфера – это часть термосферы, где происходит рассеивание ионизированного газа в космическое пространство. Уходят из экзосферы преимущественно ионы водорода.

Нижний слой тропосферы, примыкающий к земной поверхности, называют приземным слоем. Слой от земной поверхности до высоты порядка 1000 м называют слоем трения, в котором уменьшается скорость ветра и меняется его направление. Слой трения оказывает большое влияние на общую циркуляцию атмосферы. В процессе последней тропосфера расчленяется на отдельные воздушные массы, которые более или менее длительное время сохраняют индивидуальные физические свойства (температуру, влажность, содержание влаги). Горизонтальное распространение воздушных масс измеряется тысячами километров.

Наименование и главные характеристики сфер воздушной оболочки (по Х.Т. Погосян)

Сфера	Высота нижней и верхней границы, км	Характер изменения температуры с высотой	Переходный слой
Тропосфера	От поверхности земли до 8-17	Понижение	Тропопауза
Стратосфера	От 8-17 до 50-55	Повышение	Стратопауза
Мезосфера	От 50-55 до 80	Понижение	Мезопауза
Термосфера	От 80 до 800	Повышение	Термопауза
Экзосфера	Выше 800	-	-

Горизонтальная структура атмосферы

Нижний слой тропосферы, примыкающий к земной поверхности, называют приземным слоем. Слой от земной поверхности до высоты порядка 1000 м называют *слоем трения*, в котором уменьшается скорость ветра и меняется его направление. Слой трения оказывает большое влияние на общую циркуляцию атмосферы. В процессе последней тропосфера расчленяется на отдельные **воздушные массы**, которые более или менее длительное время сохраняют индивидуальные физические свойства (температуру, влажность). Горизонтальное распространение воздушных масс измеряется тысячами километров.

Вопросы для контроля:

1. Какой состав первичной и современной атмосферы Земли?
2. В чем заключается наименование и главные характеристики сфер воздушной оболочки (по Х.Т. Погосян)?
3. Что представляет собой вертикальное строение атмосферы?
- 4 В чем заключается круговорот углерода в географической оболочке (по Ф. Рамаду, 1981)?
- 6.Что такое геохимический круговорот кислорода (В.А. Вронский, Г.В. Войткевич)

Литература

1. Вронский В.А. Основы палеогеографии / В.А. Вронский, Г.В. Войткевич. - Ростов н/Д: изд-во "Феникс", 1997. - 576 с.
2. Зубащенко Е.М. Региональная физическая география. Климаты Земли: учебно-методическое пособие. Часть 1. / Е.М. Зубащенко, В.И. Шмыков, А.Я. Немыкин, Н.В. Полякова. – Воронеж: ВГПУ, 2007. – 183 с.