

**Лекції підготовлені старшим викладачем кафедри фізичної географії,
природокористування та ГІС, Роскос Н.О.**

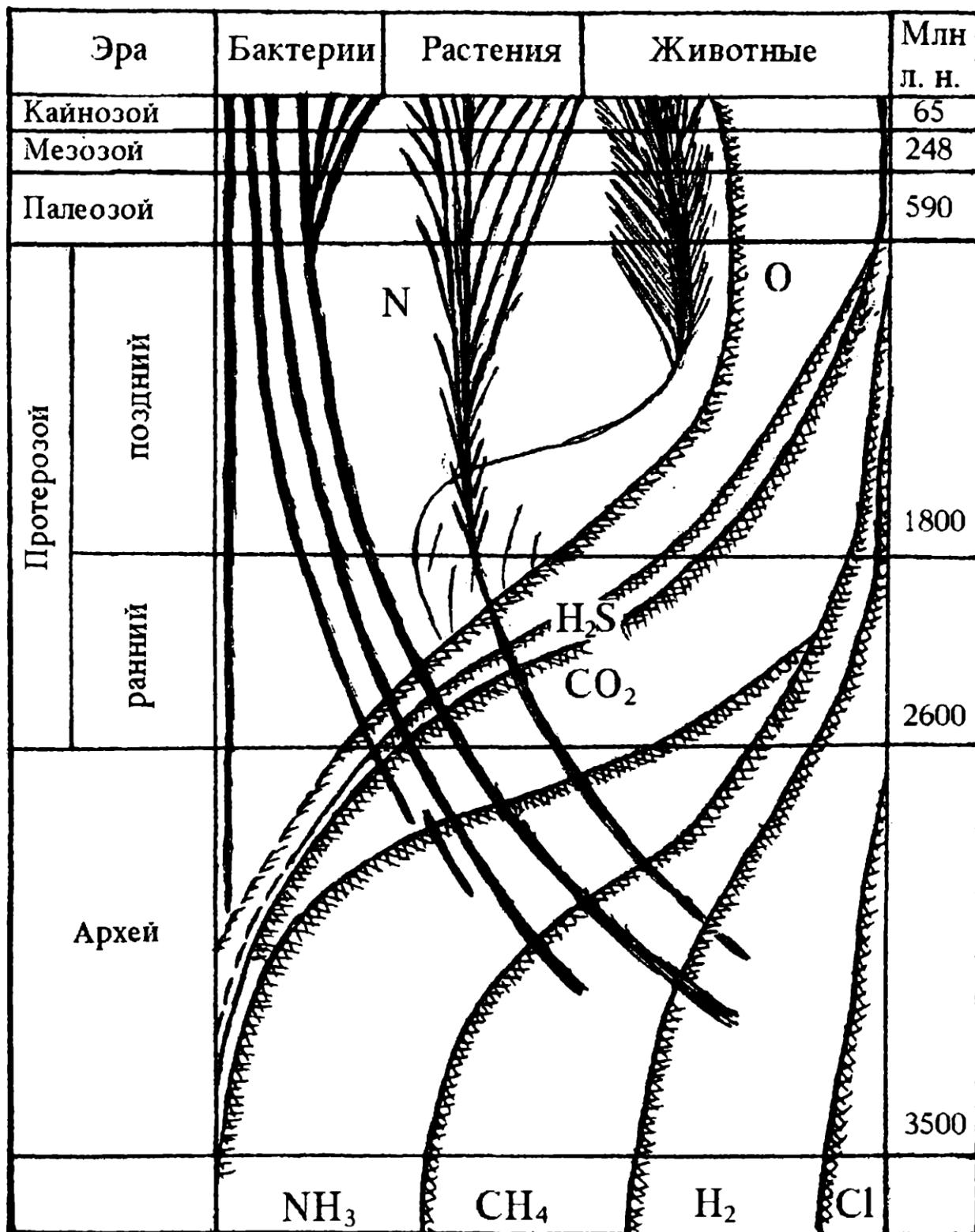
Тема 4. Формування атмосфери та основні етапи її розвитку. Формування гідросфери та її розвиток.

Газовая оболочка Земли - атмосфера, как и вся географическая оболочка, состоит из ряда сфер, сменяющих друг друга по мере удаления от поверхности геоида и отличающихся друг от друга температурой и давлением. Средний состав сухого воздуха приземных слоев тропосферы весьма постоянен: в нем содержится по объему: азота 78%, кислорода 21, аргона 0,93, углекислого газа 0,03, инертных газов, аммиака, водорода доли процента. Особое значение имеет содержание водяного пара в атмосфере: в приземном слое на экваторе оно составляет до 4% по весу, над Антарктидой $2 \cdot 10^{-5}$ %. ***В массовом выражении содержание газов убывает по мере удаления от поверхности Земли*** (воздух становится более разреженным), в связи с этим давление газов атмосферы падает по мере удаления от поверхности геоида от 760 мм рт. ст. на уровне поверхности геоида до 0,0001 мм рт. ст. на высоте 100 км. ***При этом соотношение кислорода и азота сохраняется до нижних слоев стратосферы, несколько уменьшается доля более тяжелого аргона.*** В нижних слоях стратосферы формируется озоновый экран: под влиянием ультрафиолетовой радиации кислород диссоциирует и образует трехатомную молекулу. ***Выше 100 км в термосфере растет доля легких газов, на расстоянии 1000 км от Земли преобладают гелий и водород.***

В протопланетном облаке элементы, составляющие атмосферу, находились в связанном виде: вода - в гидроокислах, азот - в нитридах и нитратах, кислород - в окислах, углерод - в графитах, карбидах.

Дальнейшее наращивание атмосферы связано с вулканизмом и выплавками базальтов. Газы, выделяющиеся из современных вулканов, содержат водяной

пар, углекислый газ, хлор, метан, аммиак, из лав отгоняются “кислые дымы” - HCl и HF , сера и ее соединения, а при более низкой температуре - борная кислота и соли аммония.



Эта первичная атмосфера сначала была очень тонкой и не влияла на температуру поверхности Земли, на которой сохранялась температура лучистого равновесия, равная в среднем $+15^{\circ}\text{C}$. Следовательно, почти весь водяной пар должен был конденсироваться, превращаясь в жидкую воду и тем самым формируя гидросферу. В первичный океан переходили, растворяясь, и другие вещества атмосферы. Температурные условия сохранялись в пределах существования жидкой воды. Это и определило одну из специфических особенностей Земли, отличающую ее от других планет Солнечной системы, - **постоянное наличие на ней гидросферы.**

Под действием жестких излучений Солнца, способных ускорять формирование сложных молекул (фотокатализ), в океане образовался ряд сложных органических веществ, в т. ч. аминокислоты. В архейских осадочных породах обнаружены следы жизни. Древнейшие достоверные остатки жизнедеятельности организмов (*Eobacterium isolatum*) **найжены в кремнистых сланцах системы Свазиленд в Трансваале, возраст их 3,1-3,4 млрд лет.** Одними из первых организмов были примитивные одноклеточные - синезеленые водоросли, которые осуществляли фотосинтез органических веществ из углекислоты и воды с выделением свободного кислорода. **Такая деятельность водорослей, а затем и сухопутных растений, привела к образованию на Земле кислородной атмосферы, не имеющей аналогов на других планетах.**

Содержание свободного кислорода, равное 1/1000 современного уровня, было достигнуто около 1,2 млрд л. н. **Этот уровень концентрации кислорода в атмосфере получил название точка Юри.** С этого времени начали образовываться коры выветривания, окрашенные в бурые и красные тона (окислы и гидроокислы железа).

Около 600 млн л. н. уровень содержания кислорода в атмосфере уже достиг 1/100 современного состояния; этот уровень называют точка

Пастера. Организмы переходят к окислению путем дыхательных процессов, что приводит к биологическому взрыву - массовому распространению животных.

Появлению озонового экрана около 400 млн л. н. отвечало содержание кислорода порядка 10% от современного уровня, после чего современный уровень был достигнут очень быстро – всего за несколько десятков миллионов лет.

Азот в атмосфере появился в результате накопления некоторого избытка кислорода; при этом аммиак NH_3 окислялся до свободного азота N_2 . Накапливался он, как и кислород, биохимическим путем, но расходовался меньше, поскольку это более инертный элемент. Его геохимическая история менее ясна, чем история кислорода, но полагают, что уже в среднем рифее отношение азота к кислороду было близко к современному.

Углекислый газ накапливался в атмосфере в результате химических реакций, сопутствующих вулканическим извержениям: метан CH_4 и окись углерода CO окислялись до углекислого газа CO_2 , а угольная кислота растворялась в морской воде, превращая её из хлоридной в хлоридно-карбонатную. Хемогенное происхождение углекислого газа связывают также с взаимодействием углерода графита с водой, с разложением карбидов в присутствии окислов, с термической диссоциацией первичных карбонатов. Уменьшение содержания углекислого газа в атмосфере происходит при образовании карбонатов как химическим, так и биохимическим путем (фотосинтез).

По мере развития Земля накапливала общую массу газов атмосферы, при этом происходило обеднение её газового состава. Атмосфера становилась всё более плотной в ходе общего процесса накопления вещества в верхних геосферах: земной коре (гранитном слое и стратифере) и гидросфере. Возможно, на каких-то этапах развития Земля

теряла водород и, может быть, гелий. Опираясь на историю накопления основных газов атмосферы: кислород, азот и углекислый газ, **в развитии земной атмосферы можно выделить следующие этапы.**

В начале формирования в её составе преобладали метан, аммиак, хлор; затем значительно увеличилось содержание углекислого газа; затем в результате появления жизни стал быстро накапливаться кислород и атмосфера приобрела свой уникальный земной состав, аналогов которому не обнаружено в Солнечной системе.

Гидросфера - это водная оболочка Земли, включающая всю воду, кроме химически связанной, расположенную на поверхности и в толще земной коры в жидком, твердом и газообразном состоянии. Это океаны, моря, реки, озера, болота, подземные воды, льды многолетнемерзлых грунтов, снежный покров, ледники, вода в атмосфере. Единство гидросферы определяется не только её непрерывностью, но и постоянным водообменом между всеми её частями и постоянным переходом воды из одного агрегатного состояния в другое.

Поскольку океаносфера составляет по объёму большую часть гидросферы, обратимся к её истории, выделив в ней два аспекта: 1) историю формирования химического состава океанической воды; 2) историю изменения очертаний океаносферы как главной по объёму части гидросферы. Следует напомнить химический состав современной океанической воды. **Он включает три главные составляющие: растворенные минеральные элементы, газы, органическое вещество.** Каждая составляющая находится в состоянии круговорота, поддерживающего динамическое равновесие с атмосферой и литосферой.

Важнейшей характеристикой состава океанической воды является её солёность, которую образуют семь ионов: катионы Na, K, Mg, Ca и анионы Cl, SO₄, HCO₃. Сумма ионов, т. е. солёность составляет 35,2‰.

Солёность океанических вод зональна, колебания её составляют 32-42 ‰ для открытого моря. *Кроме основных ионов в океанической воде содержатся так называемые биогенные элементы, которые присутствуют в разных формах; их количество контролируется биологическими и биохимическими процессами.*

К ним относятся соединения фосфора, азота, кремния. Концентрации биогенных элементов имеют другие порядки, чем содержания основных ионов, но они определяют развитие планктона в океане; выход их в осадок происходит через организмы: например, соединения кремния образуют минеральную основу диатомовых водорослей и радиолярий, которые остаются в донных отложениях в виде *диатомовых и радиоляриевых илов*. Особую роль в химическом балансе океанической воды играет содержание иона водорода, которое выражается в виде логарифма, взятого с обратным знаком, и обозначается символом рН. В поверхностных океанических водах значение рН колеблется от 8,0 до 8,35, уменьшаясь с глубиной.

Основные газы, растворенные в океанической воде, это газы атмосферы: кислород, азот, углекислый газ. Растворимость газов пропорциональна частичному (парциальному) давлению данного газа в атмосфере. *Растворенные газы стремятся войти в это равновесие, таким образом атмосфера регулирует газовый состав океанических вод; можно сказать и наоборот, что океаносфера поддерживает постоянство состава атмосферы.* Концентрации кислорода в океанической воде достигают 10 мл/л; приход его зависит от содержания в воздухе и интенсивности фотосинтеза, расход - от биологического и биохимического поглощения. Содержание азота определяется в основном равновесием с атмосферой, поскольку азот - газ почти инертный. Источники поступления CO₂ в океаническую воду - с одной стороны, дыхание организмов, процесс брожения и разложения организмов в воде, с другой - ювенильные воды, а также речные воды. Расход углекислоты связан с растворением карбонатов и

других минералов, содержащих кальций, а также с образованием известковых осадков. *В результате в морской воде может содержаться до 3,2% углекислого газа.*

А. В. Виноградов (1967) полагал, что сумма солей в воде первичного океана была близкой современной, но состав был иной: меньше щелочей и щелочных металлов. Катионы в океаническую воду поступали в результате разрушения основных и ультраосновных пород, которое шло интенсивно при более высокой температуре (излияние лав под водой).

В целом историю вод Мирового океана можно схематично подразделить на главные стадии: первичный океан, переходный океан и океан, близкий современному (Клиге и др., 1998). Особенности химических процессов **первичного океана** нами уже рассмотрены. Воды его представляли собой растворы сильных кислот, рН составлял 1-2, катионный состав был кальциево-натриевым или магниево-кальциево-натриевым. По мере увеличения массы катионов происходила нейтрализация состава океанических вод и кислотность снижалась. **В переходную стадию** происходило зарождение и постепенное развитие жизни в океане. Воды архейского океана были солоноватыми (по Н. М. Страхову $S = 25\%$), анионный состав был близок к современному, катионный состав сильно отличался: было невелико содержание иона К, зато было выше содержание железа и марганца; высоким было содержание кремния; рН воды оставался низким, содержание растворенных газов иным, отражающим состав атмосферы того времени (по данным Ю. П. Казанского содержание CO_2 составляло 44,2%, O_2 - 5,5% суммы растворённых газов).

Важнейшие изменения в балансе вещества и энергии в океане были связаны с образованием и развитием биосферы. Простейшие живые организмы могли возникнуть и сохраниться в океанической воде даже при отсутствии озонового экрана. В продолжении промежутка времени от архея к палеозою постепенно накапливался кислород в атмосфере и гидросфере; это накопление резко возросло, когда в связи с увеличением биомассы процесс

фотосинтеза стал ведущим в его накоплении. Избыток кислорода привел к окислению метана до углекислого газа, вследствие чего стабилизировалась карбонатная система воды, появились условия для накопления биогенных карбонатов. Окисление сероводорода и сернистого ангидрида привело к появлению в воде сульфат-иона SO_4 и изменению качества океанической воды: она стала **сульфатно-хлоридной**.

Приближению состава океанической воды к современному способствовало изменение выветривания на суше, развитие биогеохимических процессов. К началу палеозоя солевой состав океанической воды стал идентичен современному и качество океанической воды в дальнейшем не менялось направленно, хотя могли быть колебания состава, зависящего от интенсивности поступления ювенильных вод (вод, выделяющихся в литосфере из магмы), от климата, от связанного с ним характера выветривания, выноса вещества с суши, и т. п.

Конфигурация океаносферы зависит от объёма воды и отражает состояние рельефа земной поверхности, поскольку вода покрывает самые низкие ее части. Одна из первых попыток установить причины изменения конфигурации океаносферы принадлежала Эдуарду Зюссу.. Наступание моря на сушу Зюсс предложил называть положительным движением уровня, **трансгрессией**, а его отступление – отрицательным движением, **регрессией**. Зюсс также ввел понятие “**эвстатические**” **колебания уровня океана**, вложив в него следующее содержание: эвстатические движения - это движения водной оболочки, а не изменение объёма океанических вод.

1. Поскольку **гидрократические движения уровня океана** обусловлены увеличением объема океанических вод, в первую очередь следует обратить внимание на **процесс наращивания массы гидросферы в ходе гравитационной дифференциации первичного вещества планеты.** По А. С. Монину (1977, ссылка на работы О. Г. Сорохтина) в катархее и

архее воды в океанах было недостаточно, чтобы покрывать срединно-океанические хребты, вода в океаническую кору поступала из мантии; лишь в начале протерозоя уровень океана достиг вершин срединно-океанических хребтов и в течение всего нижнего протерозоя объём океана почти не увеличивался, поскольку все поступления воды поглощались океанической корой; с начала среднего протерозоя океаническая кора приобрела современный характер и избыток поступающей из мантии воды привёл к дальнейшему росту объёма Мирового океана, который продолжается в настоящее время и будет продолжаться, замедляясь, ещё около 2 млрд лет. *Темп этого прироста невелик с позиций направленного повышения уровня океана: по Пенку (других расчётов не приводится) 1 мм за 1000 лет.* Таким образом, основной прирост массы Мирового океана произошёл в докембрийское время, в фанерозое направленные приращение водной массы вряд ли было значительным

Есть и другая точка зрения. По мнению В. В. Орленка, на рубеже мезозоя и кайнозоя началось быстрое увеличение поступления ювенильных вод, опережающее прогибание океанического дна, связанное с альпийским орогенезом. Он полагает, что в настоящее время “планета извергает воду с максимальной за последние 160 млн лет скоростью” (Орленок, 1998, стр. 64). Более резкие и кратковременные гидрократические колебания уровня **Мирового океана связаны с изменениями структуры гидросферы при возникновении и расширении криосферы.** В настоящее время на долю льдов в географической оболочке приходится более 2% объёма гидросферы; при более холодных климатах эта доля сильно возрастала, вода, превращавшаяся в лёд, *изымалась из океана, уровень его понижался.* При таянии льдов, когда вода возвращалась в океан, *его уровень вновь повышался.* Реальность таких трансгрессий и регрессий подтверждена геологическими материалами, *такие колебания уровня превосходят амплитуду 100 м, и эта амплитуда отмечается для коротких с геологической точки зрения отрезков времени.* Такой же механизм

колебания уровня Мирового океана возникает и при других изменениях стока с суши в связи с вариациями климата, которые приводят к изменениям в геологическом и географическом кругооборотах. Если обратиться к терминологии Зюсса, такие колебания идут на фоне постоянного объёма гидросферы, но при изменчивости объёма океаносферы, т. е. при изменениях структуры гидросферы. Поэтому их ещё называют **гляциоэвстатическими**.

2. Геократические движения уровня океана - это колебания отраженные или колебания ёмкости океанической ванны. К таким движениям применимы слова В. И. Вернадского о том, что моря, вновь образующиеся при трансгрессиях, представляют как бы всплески всемирного океана, масса которого неизменна. Именно тектонические движения способны вызвать те трансгрессии и регрессии океана, которые отмечаются при палеогеографических реконструкциях отдалённых времён.

Главные положения учения о колебаниях уровня Мирового океана можно кратко сформулировать следующим образом.

1. В течение геологической истории происходит увеличение объёма вод океана путем поступления их из мантии.
2. Глобальные трансгрессии и регрессии, меняющие лик Земли, имеют теократическую природу. Трансгрессии присущи спокойным в тектоническом отношении геологическим периодам, называемым талассократическими регрессии - эпохам диастрофизма, складчатости, называемым геократическими.
3. Короткопериодические поднятия или опускания уровня океана возникают под воздействием климатически обусловленных паводков или спадов речных, а в особенности ледниковых вод. Они имеют *гидрократическую природу*, но также, как и теократические, одинаковы по знаку и амплитуде на всех побережьях. Такие трансгрессии присущи межледниковым, а регрессии – ледниковым палеоклиматическим условиям.

4. Дифференцированные тектонические движения в береговых зонах приводят к *разновременным трансгрессиям и регрессиям морей* - окраинных частей океана. Эти колебания разновременны и различны по знаку.