

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

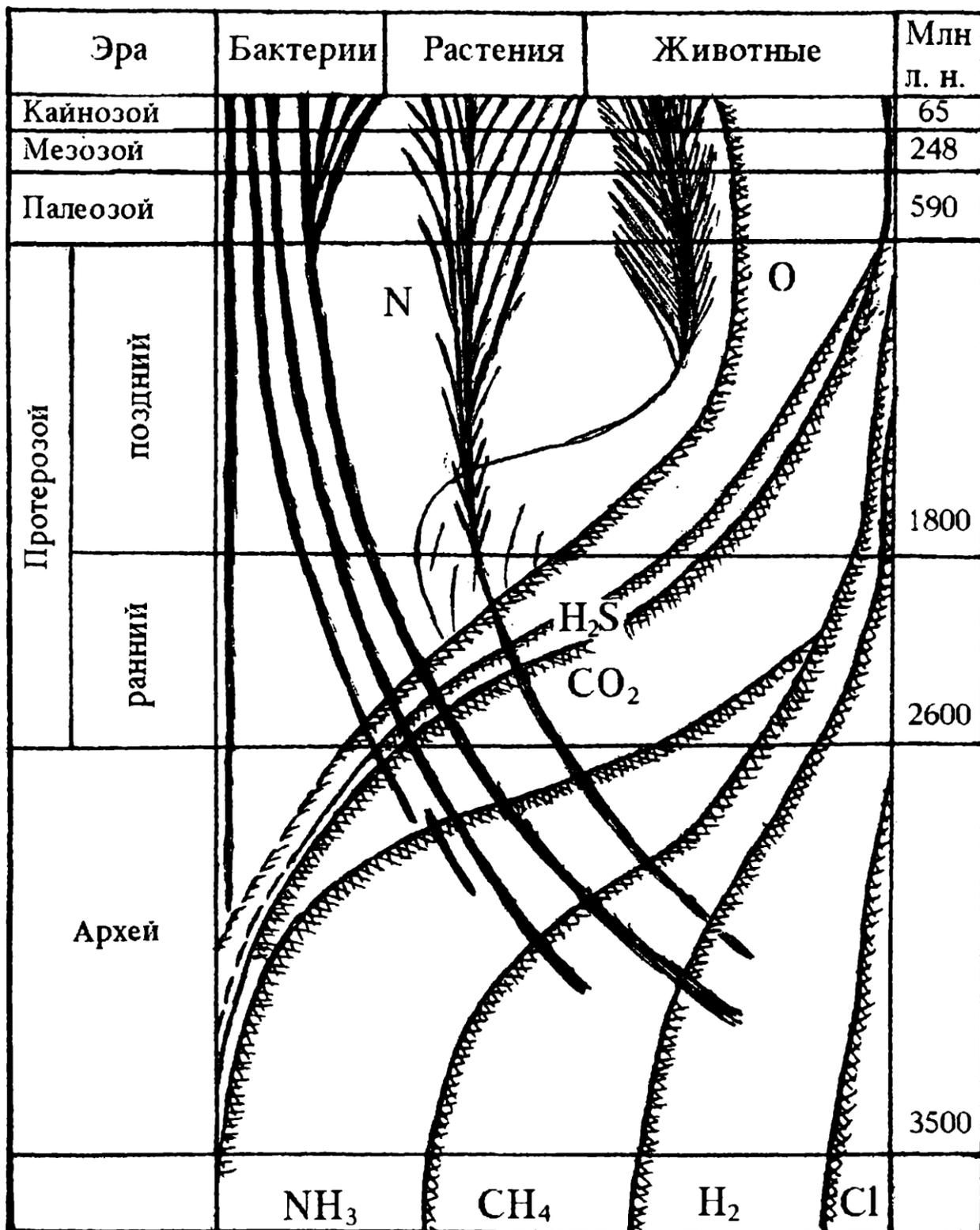
**Тема 4.** Формування атмосфери та основні етапи її розвитку. Формування гідросфери та її розвиток.

**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\*10<sup>-5</sup>%. *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” -  $\text{HCl}$  и  $\text{HF}$ , 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*) ***найлены 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  $\text{NH}_3$  окислялся до свободного азота  $\text{N}_2$ . 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  $\text{CH}_4$  и окись углерода  $\text{CO}$  окислялись до углекислого газа  $\text{CO}_2$ , 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, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>. 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 CO<sub>2</sub> 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 направленное 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.