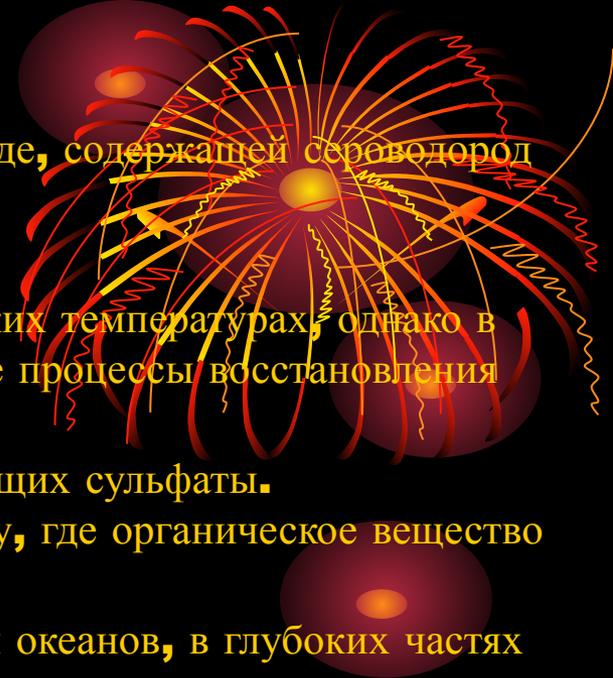


Эпигенетические процессы
восстановительного сульфидного
ряда

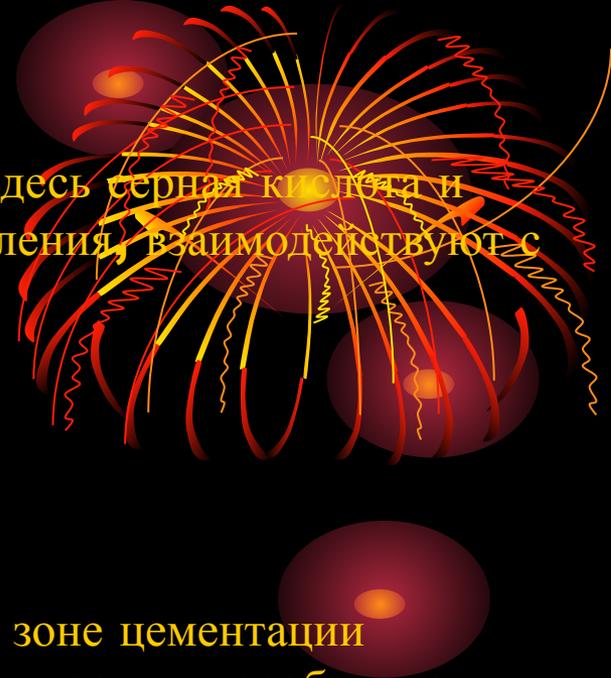
Автор Хардигов А.Э.

- Эти процессы развиваются в почвах в подзоне катагенеза, в среде, содержащей сероводород или сульфиды.
- Сероводород может быть автохтонным и аллохтонным.
- Известны чисто химические реакции образования **H₂S** при низких температурах, однако в зоне гипергенеза основное значение имеют микробиологические процессы восстановления сульфатов.
- Существует несколько видов микроорганизмов, восстанавливающих сульфаты. Сульфатредуцирующие бактерии распространены почти повсюду, где органическое вещество разлагается в присутствии сульфатов.
- Десульфатизация широко распространена в илах на дне морей и океанов, в глубоких частях Черного моря, в горизонтах пластовых вод, дренирующих битуминозные породы, на участках нефтяных месторождений. Содержание сероводорода в водах газо-нефтяных месторождений может достигать **1000-2000** мг/л.
- **Eh** сероводородных вод обычно ниже нуля. При этом пирит и органические вещества сами по себе не понижают **Eh** среды, и только присутствие бактерий приводит к его резкому снижению.
- *В зоне гипергенеза, как правило, не наблюдается плавного уменьшения **Eh** с глубиной, минимальные значения **Eh** нередко характерны для средней части окислительно-восстановительной зональности почвы или водоносного горизонта.*



Сернокислый сульфидный процесс

- Развиг в зоне цементации сульфидных месторождений. Здесь серная кислота и сульфаты тяжелых металлов, поступающие из зоны окисления, взаимодействуют с первичными сульфидными рудами:
- $2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CuFeS}_2 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{S}$
- $7\text{CuSO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{FeS}_2 \rightarrow 4\text{H}_2\text{SO}_4 + 4\text{FeSO}_4 + 7\text{CuS}$
- $\text{Ag}_2\text{SO}_4 + \text{Cu}_2\text{S} \rightarrow \text{Cu}_2\text{SO}_4 + \text{Ag}_2\text{S}$
- $\text{FeS}_2 + \text{ZnSO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{S} + \text{ZnS}$
- Последовательность образования вторичных сульфидов в зоне цементации определяется произведением растворимости и электрохимическими особенностями сульфидов. Эти процессы имеют большое практическое значение, так как с ними связано образование вторичных богатых сульфидных руд многих месторождений.
- Таким образом, при изменении сульфидных руд возникает эпигенетическая зональность: сернокислый процесс (зона окисления сульфидных месторождений) книзу сменяется сернокислым сульфидным (зона цементации).

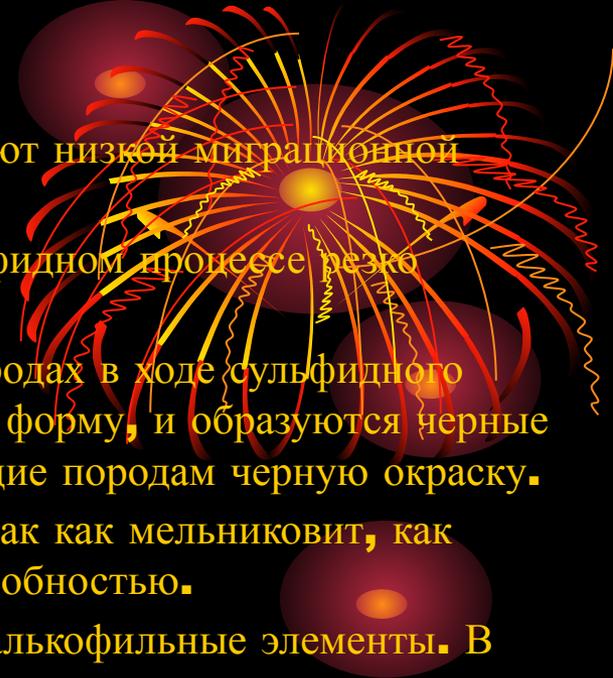


Кислый сульфидный, нейтральный карбонатный сульфидный и соленосно-сульфидный процессы

- Геохимические различия этих процессов незначительна. Разница состоит в разном содержании SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} . Именно эти компоненты оказывают влияние на интенсивность миграции многих элементов в измененных породах.
- Кислый сульфидный процесс происходит в битуминозных известняках. Здесь энергичное биохимическое окисление органических веществ при десульфуризации приводит к образованию большого количества углекислого газа и подкислению воды (pH около **6,5**). В битуминозных известняках происходят карстовые процессы и переосаждение кальцита с образованием сталактитов.
- Соленосно-сульфидный процесс, помимо пиритизации и других общих особенностей сопровождается огипсованием и накоплением легко растворимых солей.
- Особая разновидность соленосно-сульфидного процесса возникает при морской трансгрессии, когда воды наступающего моря проникают в подстилающие осадочные породы. При этом происходит десульфуризация морской воды, проникшей по трещинам и порам. В результате образуется пирит, порода приобретает зеленоватую или сизую окраску, внешне сходную с оглеением.
- В ассоциации с сероводородом и сульфидами находятся сульфаты (гипс, целестин, мирабилит).
- Развивается в солончаках сухих степей и пустынь. Он может протекать и в условиях влажного климата в местах распространения соленосных пород и приморских солончаках.
- В ассоциации с соленосно-сульфидным процессом развиваются окисление и оглеение, образуя единый парагенетический ряд и особую эпигенетическую зональность: окисленный горизонт → гидротроилит (гидропирит) → глей.



- **Металлы, образующие трудно растворимые сульфиды, обладают низкой миграционной способностью в условиях сульфидного процесса.**
- **Поэтому интенсивность водной миграции элементов при сульфидном процессе резко отличается от интенсивности миграции в коре выветривания**
- **Гидроксиды и другие соединения трехвалентного железа в породах в ходе сульфидного процесса восстанавливаются: железо переходит в сульфидную форму, и образуются черные коллоидные сульфиды (гидротроилит, мельниковит), придающие породам черную окраску.**
- **Абсолютное содержание железа может быть очень невелико, так как мельниковит, как всякий коллоидный минерал, обладает высокой красящей способностью.**
- **В этих процессах неподвижны свинец, цинк, медь и другие халькофильные элементы. В результате подземные воды, связанные с сульфидным процессом, характеризуются низким содержанием меди, цинка, железа и многих других металлов.**
- **Десульфуризация очень характерна для водо-нефтяного контакта, в связи с чем здесь развивается эпигенетическая пиритизация. Поэтому черные песчаники с пиритом и битумами могут служить признаками бывших нефтяных и газовых залежей. По периферии зоны пиритизации часто наблюдается оглеение.**



Признаки сульфидного процесса

- **1.** Сероводород в водах и породах
- **2.** Черная окраска пород и почв, свидетельствующая о накоплении гидротроилита и других сульфидов железа
- **3.** Сульфатный состав воды
- **4.** Ассоциации гидротроилита с гипсом и другими сульфатами (мирабилит, целестин и др.)
- Признаками отсутствия сульфидного процесса являются бурые и красные цвета горных пород (трехвалентное железо), следы интенсивной миграции железа в виде охристых и оглеенных пятен.



Содовый сероводородный процесс

- Характерен для солонцовых почв и битуминозных пород, в частности, для разрушающихся нефтяных месторождений.
- Воды, мигрирующие по таким породам, быстро теряют свой кислород на окисление органических веществ, что приводит к развитию микробиологического окисления органических веществ за счет восстановления сульфатов (десульфуризация).
- Количество сульфат-иона в воде понижается, сера восстанавливается с образованием сероводорода, а окислившееся органическое вещество обогащает воду углекислым газом.
- В результате сульфатно-натриевые воды превращаются в гидрокарбонатные и карбонатно-натриевые (содовые), рН их возрастает до **9-11**, в них накапливается некоторое количество сероводорода и углекислого газа:
$$\text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{C}_{\text{орг.}} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{S}$$
- Процесс протекает в солонцовых почвах и в солончаках.

