

# Стадия диагенеза

- Под **диагенезом** понимаются процессы преобразования осадка в осадочную горную породу. По своей природе эти процессы являются **физико-химическими, химическими и органическими**.
- Основными **факторами диагенеза** являются:
  - **физико-химические параметры среды (pH, Eh, соленость среды, температура и давление),**
  - **подземные и атмосферные воды,**
  - **органическое вещество.**
- На стадии диагенеза происходят следующие **процессы**:
  - **уплотнение осадка под влиянием нагрузки вышележащих слоев,**
  - **уменьшение его влажности,**
  - **превращение коллоидных образований (гелей) в метаколлоидные минералы (процесс старения коллоидов),**
  - **образование новых минералов из растворов подземных вод, циркулирующих в осадке, за счет которых формируется цемент будущей осадочной породы,**
  - **частичное разложение первичных минералов осадка, неустойчивых к факторам диагенеза,**
  - **механическое перемещение минеральных зерен, также приводящее к уплотнению осадка, под влиянием подземных вод, мерзлотных процессов, атмосферных вод, землетрясений и т.д.**

# Минералообразование при диагенезе

- Типичными минералами, возникающими на стадии диагенеза и слагающими цемент будущей осадочной породы, являются:
- *сульфиды (пирит, мельниковит, марказит),*
- *оксиды и гидроксиды (гидроксиды и оксиды железа и марганца),*
- *сульфаты (барит, целестин),*
- *карбонаты (кальцит, доломит, сидерит, магнезит),*
- *фосфаты (коллофанит, курскит и др.),*
- *силикаты (опал, халцедон, кварц, глауконит, лептохлориты, каолинит, гидрослюда, монтмориллонит, цеолиты).*
- Вновь образовавшиеся минералы цемента отличаются от первичных минералов осадка по **морфологии** выделений. Среди них характерны мельчайшие кристаллики, агрегаты микроскопических зерен, сферолиты, оолиты, микроконкреции.

# Этап раннего диагенеза

- Процессы диагенеза закономерно развиваются во времени, что позволяет выделить ранний и поздний этапы диагенеза.
- На этапе **раннего диагенеза** в осадках сохраняется окислительная обстановка, типичная для стадии седиментогенеза. Этот этап характерен для глубин **до 200-300 м.**
- В это время активно развиваются процессы постепенного формирования цемента, хотя осадок все время остается в рыхлом состоянии.
- Наряду с процессами **нового минералообразования**, происходит разложение ряда первичных минералов.
- **Например:**
  - 1) в щелочных условиях среды происходит разложение полевых шпатов и слюд с образованием гидрослюд.
  - 2) в слабокислых и нейтральной среде железо-магнезиальные минералы (пироксены, оливин, амфиболы, биотит) постепенно превращаются в глауконит.
  - 3) в кислых условиях среды наблюдается разъедание и последующее растворение карбонатов и фосфатов, а полевые шпаты и слюды превращаются в каолинит.

# Этап позднего диагенеза

- На этапе **позднего диагенеза** физико-химические условия среды существенно отличаются от среды седиментогенеза в связи с погружением осадка на глубину **до 1 км**. Это касается температуры и давления, рН и Eh, солености и др.
- Благодаря жизнедеятельности бактерий и разложению органического вещества на некоторой глубине в осадке появляются в большом количестве **сероводород и углекислота, за счет чего создается восстановительная обстановка**. Переход преимущественно из окислительной обстановки, типичной для стадии седиментогенеза, в восстановительные условия среды является важным фактором минералообразования на стадии диагенеза.
- Все большую часть объема осадка начинают занимать **конкреции**, которые постепенно растут во времени. Наиболее распространенными являются **железо-марганцевые, сульфидные, карбонатные, сульфатные, фосфатные и кремниевые конкреции**. Основной их рост происходит в еще **не затвердевшем осадке**.
- Постепенно в осадке возникают зоны плотной породы, зацементированные минеральными новообразованиями и конкрециями. К концу диагенеза рыхлые участки полностью исчезают.
- **Например:** в ходе диагенеза валунно-галечные осадки превращаются в конгломераты, глыбово-щебневые – в брекчии, песчаные – в песчаники, алевритовые – в алевролиты, глинистые осадки – в плотные глины и аргиллиты, карбонатные илы – в доломиты и известняки и т.д.









# Стадия катагенеза

- ***Катагенезом*** называется процесс изменения осадочных пород в результате погружения их на определенную глубину.
- Основными факторами катагенеза являются:
  - повышенная температура,
  - высокое давление,
  - подземные воды и грунтовые растворы.
- На данной стадии происходят следующие основные преобразования осадочных пород:
  - ***значительное уплотнение пород под влиянием нагрузки вышележащих толщ,***
  - ***специфические процессы минералообразования: коррозия и частичное растворение минералов, регенерация, образование новых минералов из растворов, метасоматические замещения, перекристаллизация обломочных зерен.***
- Катагенетические процессы происходят на глубинах **от 1 до 5 км.**

# Термодинамические условия зоны катагенеза

- Изменение температуры и давления с глубиной характеризуется следующими цифрами:

Глубина от поверхности (км)	Давление (атм)	Температура (°C)
1	200	30
2	420	60
3	700	90
4	1000	120
5	1250	150



# Роль давления в преобразовании осадочных пород

- **Давление** вышележащих толщ по-разному действует на глинистые и зернистые, плотно сцементированные и пористые осадочные породы.
- 1) Под воздействием нагрузки зерна осадочных пород сближаются друг с другом. При этом происходит постепенное **снижение пористости** пород. Отдельные зерна разворачиваются и укладываются в пространстве наиболее плотно друг к другу (т.н. плотнейшая упаковка).
- 2) Наблюдается **выделение воды**, прежде всего из **порового пространства**. Наиболее характерен этот процесс для глинистых (монтмориллонитовых) пород. При этом свободная вода вытесняется еще при давлении 40-80 атм, что соответствует глубине погружения 400-600 м. **Пленочная и гигроскопическая вода**, прочно удерживаемые на поверхности частиц, отжимаются при значительно больших давлениях и на глубинах свыше 1 км.
- 3) Следующим важным процессом является **изменение ориентировки** обломочных частиц под давлением. Минеральные частицы уплощенной формы под нагрузкой ориентируются параллельно друг другу и образуют агрегаты с весьма малой пористостью.
- 4) Кроме того, частицы глинистых и слюдястых минералов подвергаются **пластическим деформациям**.

# Роль давления (продолжение)

- При наиболее высоком давлении происходят процессы **дробления** зерен. Особенно легко подвергаются раздроблению сильно трещиноватые обломки, сростки различных минеральных зерен, хрупкие минералы с совершенной спайностью (гипс, кальцит, галит, сильвин).
- Под влиянием нагрузки зерна на контактах начинают проникать друг в друга. Особенно характерен этот процесс на контакте кварца с кальцитом и т.п. В присутствии растворов в этих точках начинаются процессы растворения наименее устойчивых минералов.
- Постепенно под влиянием давления наблюдается массовое развитие процессов растворения минералов (т.н. **процессы «межпластового растворения»**). Устойчивость минералов к процессам межпластового растворения зависит от прочности их кристаллической решетки и характера среды. Наименее устойчивы в этих условиях обломки пород, основные плагиоклазы, слюды, хлориты, пироксены и амфиболы. Даже кварц при повышенных температурах и давлении начинает растворяться более интенсивно.
- Такие непрочные породы, как каменная соль, сильвинит, гипсы, ангидриты, благодаря их пластичности, проявляют свойство **текучести** в твердом состоянии (плойчатая текстура). Несколько в меньшей степени текут и другие породы с цементом того же минерального состава, а также глинистым цементом.

# Пористость как индикатор процессов катагенеза

- Количественными показателями интенсивности проявления процессов катагенеза служат **пористость** пород и поведение их в воде.
- **Например**, для глинистых образований отмечены следующие градации.
- Глины мелового возраста Поволжья, перекрытые толщей пород мощностью 100-200 м, имеют пористость 47%. Они легко размокают в воде и относятся еще к осадкам.
- Аргиллиты среднего карбона Донбасса, залегающие на глубинах около 4000 м, отличаются пористостью около 10%; они с трудом размокают в воде.
- Аргиллиты триаса Крыма, перекрытые толщей пород мощностью порядка 5000 м, имеют пористость в пределах 1-4% и не размокают в воде.



# Подземные воды как фактор катагенеза

- Особенности процессов минералообразования при катагенезе определяются не только термодинамическими условиями среды и составом пород, но и важной ролью *подземных вод*.
- С учетом условий циркуляции и состава подземных вод вся стратисфера разделяется на три зоны:
  - зона **свободного водообмена** (глубина до 700 м), где происходит интенсивная циркуляция подземных вод и обмен их с поверхностными;
  - зона **затрудненного водообмена** (глубина до 2 км), где условия мало благоприятны для циркуляции, а обмен их с поверхностными водами резко ограничен;
  - зона **застойных вод** (глубина свыше 2 км), где циркуляция подземных вод практически отсутствует и полностью исключен их обмен с поверхностными водами.
- Обычно в зоне свободного водообмена развиты гидрокарбонатные слабоминерализованные воды, в зоне затрудненного водообмена – гидрокарбонатно-сульфатные и сульфатные среднеминерализованные воды, в зоне застойных вод – хлоридно-сульфатные и хлоридные высокоминерализованные воды и рассолы.
- Кроме того, по мере углубления в стратисферу увеличивается величина рН и падает - Eh, в результате чего на больших глубинах наблюдаются восстановительные и резко щелочные условия среды.

# Ранний катагенез

- Этап *раннего (или начального) катагенеза* фиксируется присутствием в глинистых породах или глинистом цементе неизмененного глинистого вещества, унаследованного от стадии диагенеза.
- Характерны достаточно широкое развитие процессов внутрислоевого растворения неустойчивых минералов, коррозия зерен кварца и полевых шпатов, новообразования различных карбонатных минералов.
- Пористость пород составляет порядка 15-30%.
- Наряду с более или менее плотными породами (конгломераты, аргиллиты) присутствуют некоторые слабо сцементированные породы – глины, рыхлые песчаники, ракушечники, мел, мергели, бурые угли.
- Текстуры и структуры осадочных пород заметно не меняются.
- Глубина зоны раннего катагенеза варьирует от 1,5 до 4 км. Для него характерны температура до 100°C и давление до 1000 атм.

# Поздний катагенез

- Этап *позднего (или глубинного) катагенеза* характеризуется:
  - массовым растворением под давлением обломочных зерен кварца, полевых шпатов, обломков пород,
  - интенсивным преобразованием глинистого вещества – проявлением процессов гидрослюдизации и хлоритизации,
  - перекристаллизацией карбонатов.
- Пористость пород снижается до 3-5%.
- Текстуры осадочных пород сохраняются, однако структуры меняются: появляются конформные, регенерационные, стилолитовые структуры в известняках, ориентированные структуры в глинистых породах (сланцеватые аргиллиты).
- На этапе позднего катагенеза глины переходят в аргиллиты, не размокающие в воде. Рыхлые песчаники переходят в плотные и крепкие песчаники, ракушечники – в плотные известняки, мел, мергели и хемогенные известняки переходят в перекристаллизованные кальцитовые породы.
- Положение границы между зонами раннего и позднего катагенеза не согласуется со стратиграфическими границами и соответствуют глубине погружения (обычно 4-5 км). Так, на территории Восточного Донбасса она приурочена к границе верхнего карбона и перми, а на юго-востоке Русской платформы – совпадает с подошвой девона.