

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Томский политехнический университет

Геология и методика поисков и разведки месторождений нефти и газа

Курс лекций
Раздел 1

2009

Целью изучения дисциплины «Геология и методика поисков и разведки месторождений нефти и газа» является создание базы понятий и определений о свойствах и составе углеводородов, их классификации, о происхождении углеводородов, о процессах формирования и закономерностях размещения месторождений нефти и газа. Квалифицированная профессиональная деятельность на предприятиях нефтегазовой отрасли без этой базы невозможна.

Геология нефти и газа – отрасль геологии, изучающая условия образования, размещения и миграции нефти и газа в литосфере.

Содержание рабочей программы курса «Геология и методика поисков и разведки месторождений нефти и газа»

- Значение нефти и газа в мировом хозяйстве**
- Природные горючие ископаемые**
- Особенности накопления и преобразования органических соединений при литогенезе осадочных пород**
- Основы литогенеза**
- Состав, свойства и классификации нефти и газа**
- Природные резервуары нефти и газа**
- Строение и классификация ловушек и залежей нефти и газа**
- Миграция углеводородов, формирование и разрушение залежей**
- Закономерности пространственного размещения скоплений нефти и газа в земной коре**

Природные горючие ископаемые

Каустобиолиты - (от греч. *kaustós* — горючий, *bíos* — жизнь и *líthos* — камень), горючие ископаемые органического происхождения, представляющие собой продукты преобразования остатков растительных, реже животных, организмов под воздействием геологических факторов. Термин «каустобиолиты» предложен в 1888 немецким учёным Г. Потонье

Классификация каустобиолитов

Г. Потонье разделил каустобиолиты по происхождению на 3 группы:

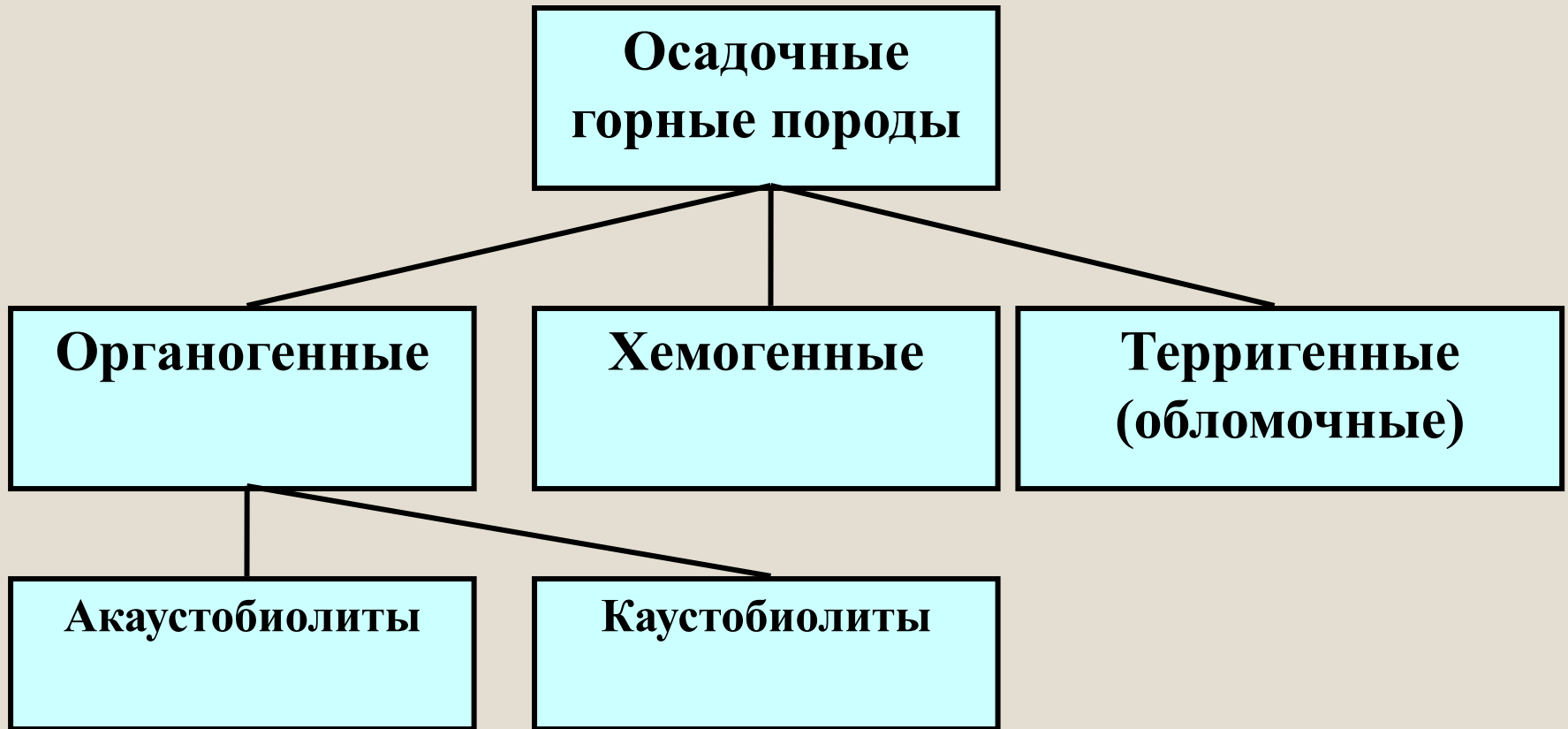
- сапропелиты, возникающие в результате захоронения на дне водоёмов низших организмов, в основном планктонных водорослей (кероген горючих сланцев, возникающие в результате захоронения на дне водоёмов низших организмов, в основном планктонных водорослей (кероген горючих сланцев, богхед);

- гумиты, образующиеся из остатков высших, преимущественно болотных, растений (бурый уголь образующиеся из остатков высших, преимущественно болотных, растений (бурый уголь, каменный уголь);

- липтобиолиты — угли, обогащенные наиболее стойкими к разложению компонентами растительного

Положение каустобиолитов среди горных пород

(по И.О. Броду и Н.А. Еременко)



Источники органического вещества в природе

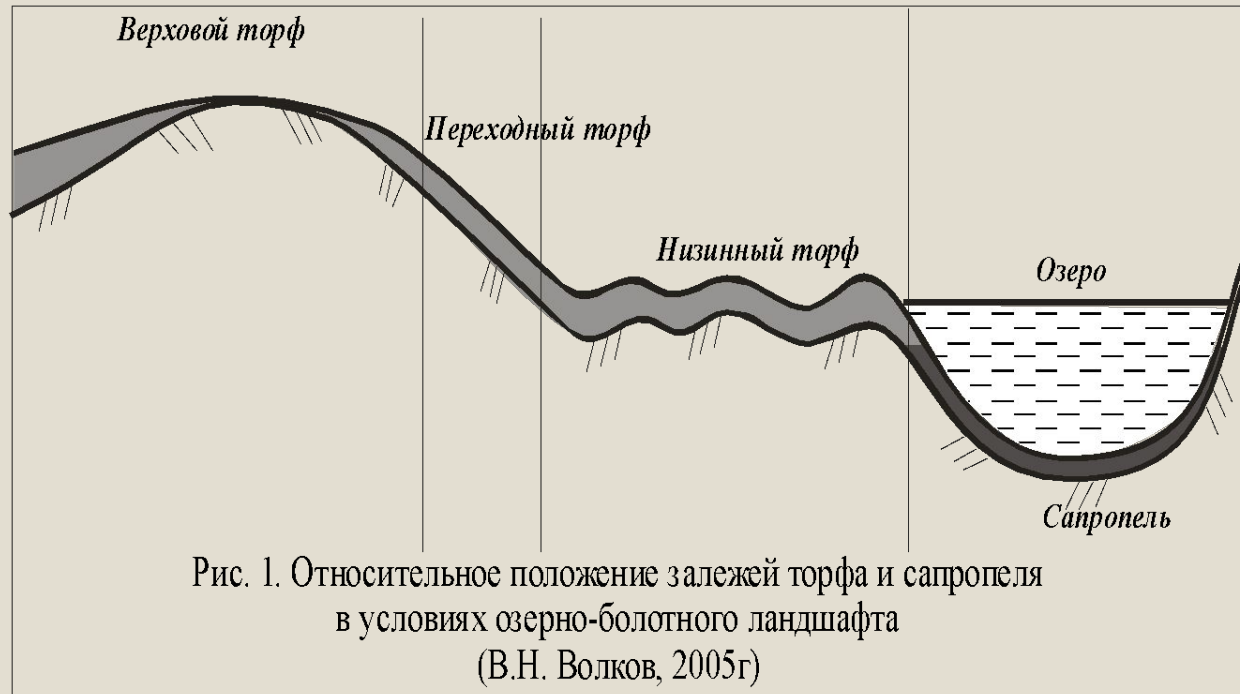
- 1. Остатки отмерших растительных (*фитопланктон, фитобентос*) и животных (*зоопланктон, зообентос*) организмов и продукты их жизнедеятельности;**
- 2. Абиогенные реакции, протекающие в литосфере и дающие продукты органического состава;**
- 3. Магматический синтез.**

Условия накопления органического вещества в природе

Осадочная толща непременно содержит какое-то количество органического вещества, а его количество зависит от условий существования фито и биоценозов. Наиболее благоприятны для активного размножения фито- и зоопланктона зоны с теплым и влажным климатам. Для накопления и сохранения ОВ благоприятно морское мелководье и умеренно глубоководные условия, расположенные вблизи морских бассейнов (лиманы, лагуны, эстуарии, периодически затопляемые прибрежные болота).

Фациальные обстановки сохранения ОВ

К областям
континентальной
седиментации
относятся
преимущественно
фации озер, болот и
отчасти
аллювиальных
равнин, т.е. та
восстановительная
среда, в которой
растительные
остатки не
разрушаются



Основы литогенеза

ЛИТОЛОГИЯ - наука о современных осадках и осадочных породах.

Название происходит от греческих слов: «ЛИТОС» – камень, «ЛОГОС» – учение.

В нефтегазовой литологии одними из главных направлений являются литология природных резервуаров, нефтегазопромысловая литология, литолого-фациальный анализ, формационный анализ.

Современная наука об осадочных образованиях базируется на неперемнной *генетической* и *историко-геологической* направленности своих исследований.

К настоящему времени в литологии обособились *два важнейших раздела*: 1 - *учение о седиментогенезе* (седиментология) и 2 - *учение о закономерностях превращения осадков в породы и изменений последних внутри стратисферы* (или *учение о литогенезе* в трактовке данного термина по П.П.Тимофееву, В.Т.Фролову и О.В.Япаскурту).

Существенные успехи достигнуты в совершенствовании основных методик: *литолого-фациального анализа* и *генетического формационного анализа*, а также *комплексного стадийного анализа*.

Осадочная горная порода - это геологическое тело, возникшее из продуктов физического и химического разрушения литосферы, в результате химического осаждения и жизнедеятельности организмов, или того и другого одновременно.

В связи с этим осадочные породы представляют собой скопления минерального или органического вещества, образующиеся в условиях земной поверхности (на дне водоемов или на поверхности суши) как результат действия экзогенных процессов.

Более трёх четвертей площади материков покрыто осадочными породами, поэтому с ними наиболее часто приходится иметь дело при геологических работах. Кроме того, с осадочными породами связана подавляющая часть разрабатываемых месторождений полезных ископаемых.

В подавляющем большинстве именно осадочные породы являются коллекторами нефти и газа, и литологические свойства этих пород определяют возможность накапливать углеводороды (УВ) и отдавать их в процессе разработки. Геометрия фильтрационно-емкостного пространства пород-коллекторов определяется прежде всего их структурой, текстурой, компонентным и минеральным составом, поэтому петрографические признаки пород и их генетическое истолкование являются важными элементами исследований в нефтегазовой литологии.

Генезис осадочных горных пород

Образование осадков, из которых возникают осадочные горные породы, происходит на поверхности земли, в её приповерхностной части и в водных бассейнах.

Процесс формирования осадочной горной породы можно представить в виде схемы:

- возникновение исходных продуктов (путем выветривания или другим способом);
- перенос и частичное осаждение материала на путях переноса;
- осаждение вещества в водных бассейнах;
- преобразование осадков и превращение их в осадочные породы.

Стадии литогенеза

Стадии литогенеза - ряд последовательных закономерных геологических процессов:

Гипергенез (выветривание) – экзогенные процессы, приводящие к разрушению минералов и горных пород.

Седиментогенез – стадия накопления осадков, их перенос (ветром, водами, льдом, организмами) и аккумуляция на дне водоемов и во впадинах на суше.

Диагенез – процесс превращения осадка в осадочную породу при уплотнении в верхней зоне земной коры Происходит при низких температурах и давлениях, существенно биохимический (с участием бактерий).

Катагенез – изменение пород в верхней части стратисферы под действием возрастающих температур, давления и химических реакций.

Метагенез – глубокое преобразование осадочных пород в земной коре

ГИПЕРГЕНЕЗ

Образование осадочного материала происходит за счет действия различных факторов - влияния колебаний температуры, воздействия атмосферы, воды и организмов на горные породы и т.д. Все эти процессы приводят к изменению и разрушению пород и объединяются одним термином *выветривание*



Различают выветривание *механическое*, когда раздробление пород происходит вследствие тектонических процессов, деятельности воды, ветра, льда, под влиянием силы тяжести и других причин. *Физическое (морозное)* выветривание протекает под влиянием колебаний температуры. *Химическое* выветривание связано с тем, что многие минералы, оказавшись у поверхности Земли, вступают в различные химические реакции. Основными факторами этого типа выветривания являются атмосферная и грунтовая вода, свободные кислород и углекислота, растворенные в воде органические и некоторые минеральные кислоты. К процессам химического выветривания относятся окисление, гидратация, растворение и гидролиз. Химическое разложение протекает одновременно с механическим раздроблением. *Биологическое* выветривание осуществляется под воздействием живых организмов (бактерии, роющие животные, низшие и высшие растения и т.д.)

СЕДИМЕНТОГЕНЕЗ

Осадочный материал обычно не остается на месте, а переносится под действием различных факторов в те участки земной поверхности, где существуют условия, благоприятные для его накопления и захоронения.

Перенос осуществляется главным образом с помощью воды и ветра; кроме них заметную роль в перемещении осадков играют движущиеся ледники, айсберги и прибрежные льды, а также связанные с проявлением силы тяжести оползни, осыпи, обвалы; а также живые организмы. Чем меньше частицы, тем дальше они могут быть перемещены. В районах вечной мерзлоты (нивальный климат) глетчеры транспортируют обломочные продукты выветривания любых размеров и отлагают их в качестве донных и конечных морен. В областях пустынь (аридный климат) господствует эоловый перенос. Он обуславливает сортировку по крупности зерен на крупные обломки, остающиеся на месте образования, песок, образующий дюнные ландшафты, и тончайшую пыль, лёс, который часто выносится ветром из пустынь и отлагается в соседних районах.

Основными факторами осадконакопления являются рельеф, геохимическая обстановка и среда (водная или воздушная). Отложение частиц может быть временным и постоянным.

Начнем рассмотрение со **среды осадконакопления**. Она может быть водной и воздушной.

- Водная среда - озера, реки и главным образом моря. Здесь формируются осадки трех типов- **обломочные, биогенные и хемогенные**.
- Воздушная среда - участки суши вне водной среды. Осадки здесь представлены **обломочными и хемогенными** типами.

Геохимическая обстановка определяет химическую осадочную дифференциацию вещества, которая по Л.В. Пустовалову - последовательное осаждение минеральных веществ в речных, морских и прибрежных водоемах вследствие различных химических процессов.

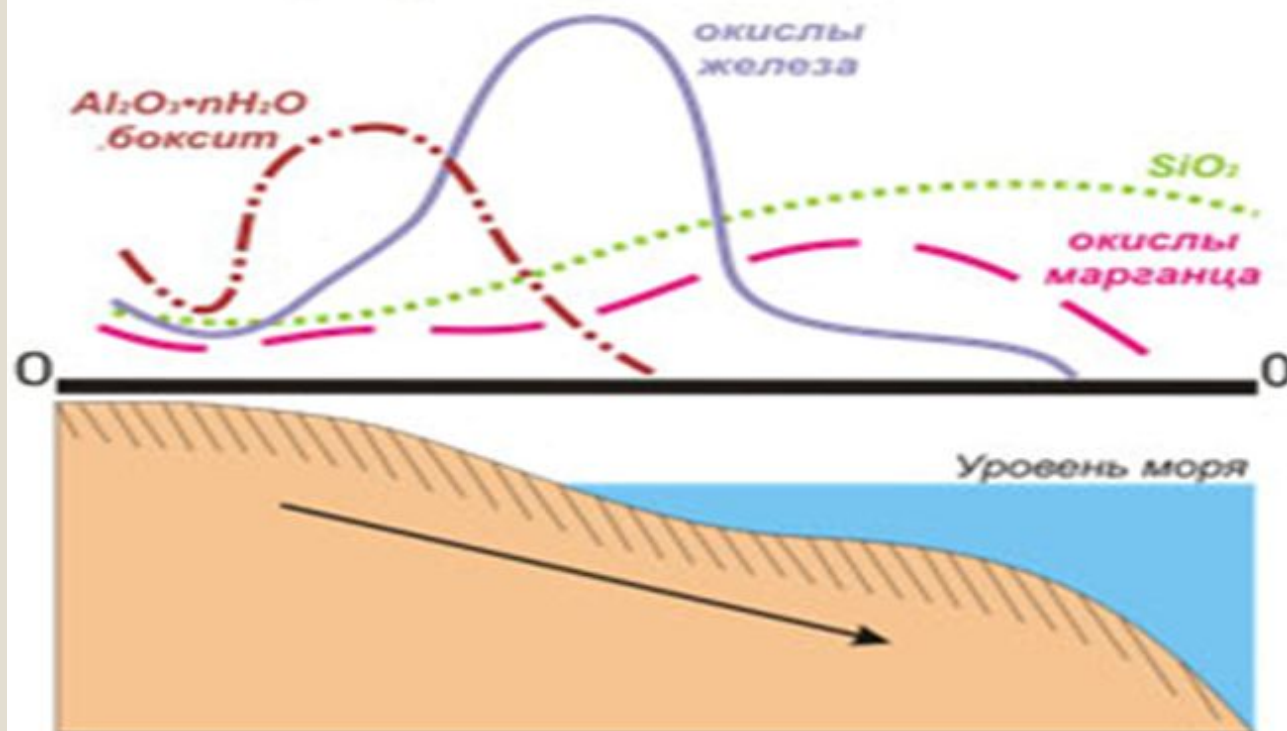
Основными причинами химической дифференциации являются:

- изменение рН в природных водах,
- различие в ЕН- т.е. окислительно-восстановительного потенциала в зоне осадкообразования.
- Так установлено, что последовательность осаждения гидроксидов металлов из природных вод происходит при изменении рН среды:

гидроксид	рН
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	2.0
$\text{Al}(\text{OH})_3$	4.0
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	5.5
$\text{Mn}(\text{OH})_2$	8.5
$\text{Mg}(\text{OH})_2$	10

Схема химического осадкообразования в морском бассейне

Р.Юбельт, П.Шрайтер, 1977





Окислительно-восстановительный потенциал определяет форму минеральных соединений - **окисную, силикатную или карбонатную**. Эти переходы, т.е. дифференциация также имеет направленность:

СУША	ПОБЕРЕЖЬЕ	МОРЕ
ОКИСЛЫ	сульфаты и галоиды	карбонаты и силикаты Fe, Ca, Mg

Влияние рельефа на осадконакопление заключается в следующем:

1. В общем плане все пониженные участки рельефа являются потенциальными областями аккумуляции осадков.
2. Рельеф влияет на мощность осадков.
3. Зональное распределение обломочного материала определяется рельефом.

В ложе Мирового океана выделяют несколько областей - прибрежная, мелководная, батинальная (глубоководная) и абиссальная. Поступающий с континента обломочный, рыхлый материал в условиях неровностей рельефа начинает разделяться по размеру и весу обломков. Легкие и мелкие обломки уносятся в более глубокие пониженные области, а крупные оседают в прибрежных, мелководных зонах.

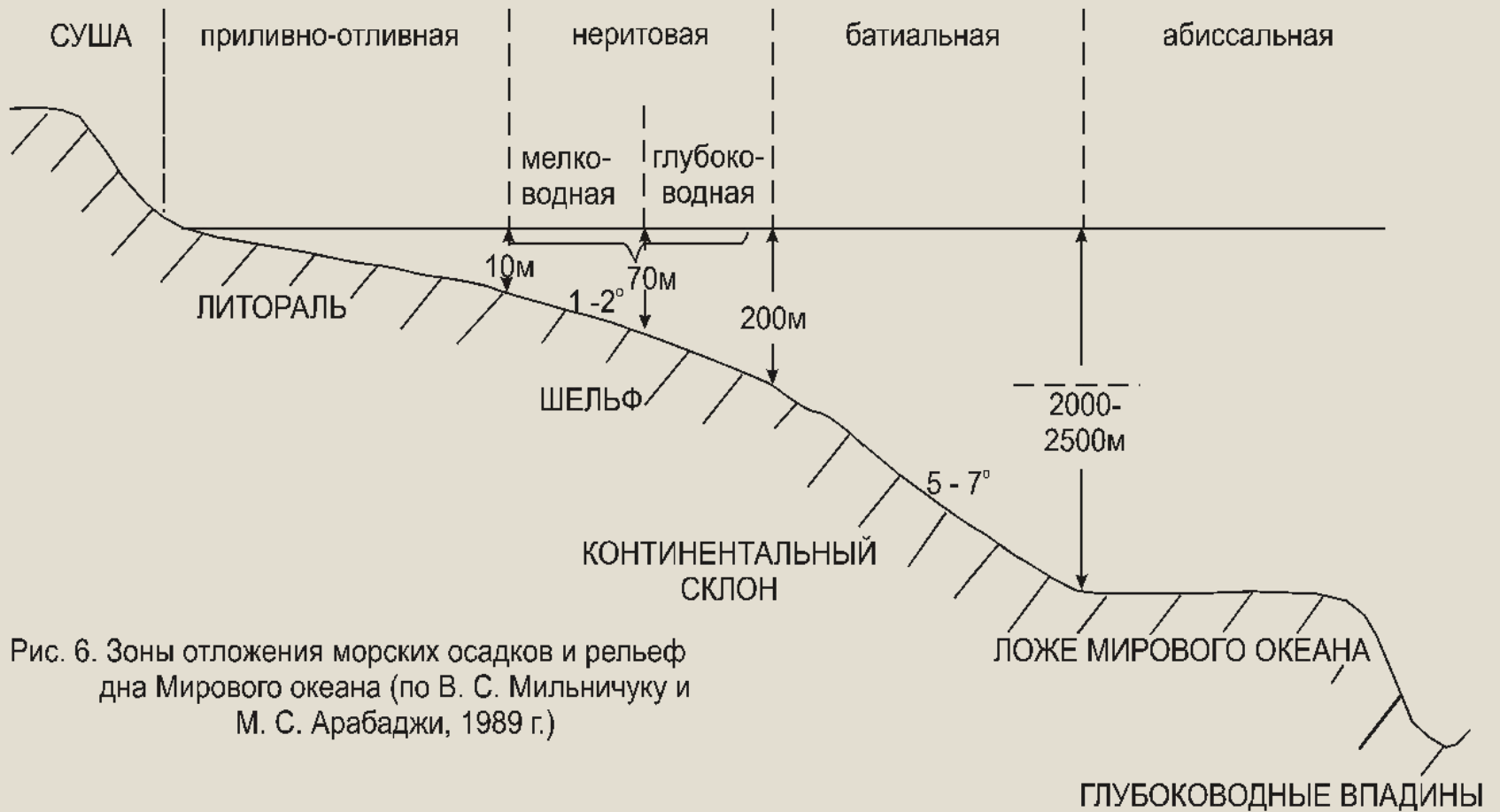


Рис. 6. Зоны отложения морских осадков и рельеф дна Мирового океана (по В. С. Мильничуку и М. С. Арабаджи, 1989 г.)

Таким образом происходит механическая дифференциация по размеру обломков (или еще называют это сортировкой) т.е.:

глыбы → валуны → галька → гравий → песок → алеврит → пелит

Вещества, находящиеся в коллоидном и истинном растворе, выпадают только вследствие химических процессов. Продукты выветривания распределяются, таким образом, по всей поверхности Земли, подвергаются при этом сортировке и, наконец, отлагаются в виде осадков в самых глубоких местах или на материках, или (преимущественно) в морских бассейнах.

На стадии седиментогенеза закладываются основные свойства осадков - это минеральный состав, размер и форма обломочных частиц и условия их залегания.

Свежесформированные осадки образуют рыхлые слои, обводненные и насыщенные химически активными соединениями. Для такого осадка характерно отсутствие физико-химического равновесия между твердыми, жидкими и газообразными компонентами. Начинается новая стадия, называемая **диагенез**, в которую рыхлые осадки под действием совокупности процессов переходят в твердую сцементированную осадочную породу.

Понятие **диагенеза** введено в науку немецким геологом В. Гюмбелем (1888), который вкладывал в него всю совокупность изменений осадка от первоначального его вида вплоть до превращения в метаморфические горные породы. Позднее (немецким геологом Й. Вальтером, советским геологом А. Е. Ферсманом и др.) понятие "диагенез" было сужено. Под диагенезом понимается только преобразование осадка в собственно осадочную породу.

Осадок, накопившийся на дне водоема или на поверхности суши, обычно представляет собой неравновесную систему, состоящую из твердой, жидкой и газовой фаз. Между составными частями осадка начинается физико-химическое взаимодействие.

Во время диагенеза происходит уплотнение осадка под тяжестью образующихся выше него слоев, обезвоживание, перекристаллизация. Взаимодействие составных частей осадка между собой и окружающей средой приводит к растворению и удалению неустойчивых компонентов осадка и формированию устойчивых минеральных новообразований. Разложение отмерших животных организмов и растений вызывает изменение окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных свойств осадка. К концу диагенеза жизнедеятельность бактерий и других организмов почти полностью прекращается, а система *осадок — среда* приходит в равновесие.

Рассмотрим основные из этих процессов, последовательность их проявления и результаты.

Изменяется состав воды в осадке и бассейне седиментации. Вода осадков обогащается углекислым газом, сероводородом, метаном, но теряет кислород и сульфаты. Изменяется ее pH. Это дает толчок новым процессам:

- начинается физико-химическое взаимодействие вод осадка и вод бассейна. Избыток газов поступает в воды бассейна, а из них в осадок поступают O_2 и ионы SO_4^{-2} и Ca^{+2} и Mg^{+2} .
- в осадке начинается образование новых минералов.

В ходе этих процессов в осадке происходит выравнивание геохимической обстановки. Одновременно происходит вытеснение воды из осадка и его уплотнение. Уплотнение происходит за счет давления новых порций осадков, а также за счет цементирующего действия новообразованных минералов. Осадок переходит в осадочную горную породу.

Катагенез

Это процесс изменения осадочной породы при котором сохраняется ее строение и минеральный состав. Процессы катагенеза протекают в условиях медленного и длительного опускания осадочных пород или их подъема. Масштаб изменения глубин незначительный ~3-7 км. Основными факторами преобразования пород являются температура, давление, вода, растворенные в ней соли и газообразные компоненты, рН, Eh и радиоактивное излучение. Направленность и интенсивность преобразований в значительной степени определяются составом и физическими свойствами пород. Происходит уплотнение и обезвоживание пород, растворение одних минералов и образование других, перекристаллизация минералов.

В процессе катагенеза могут образоваться скопления пирита, марказита, халцедона и других минералов. В случаях, когда осадочные породы содержат органические соединения - в зоне катагенеза происходит их преобразование. При температуре = 60-150°C и до глубины 5 км образуются жидкие и газообразные углеводороды. Глубже 5 км и >150° происходит разложение нефти и образование газа метана.

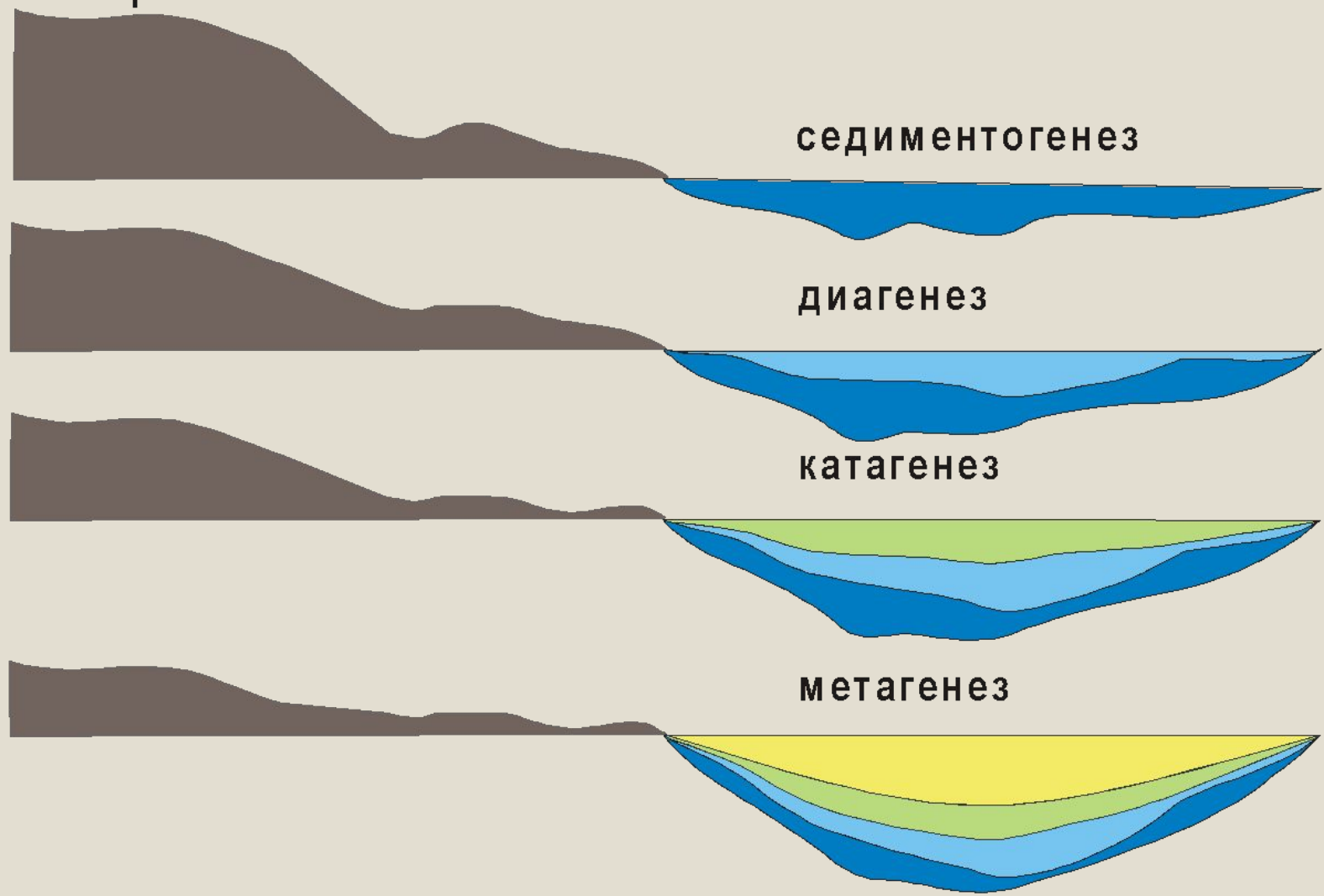
При переходе пород из зоны катагенеза на глубины > 5км и температуры >150-300° процессы преобразования могут изменить структуру и минеральный состав пород. В этом случае говорят о метагенезе или начальной стадии метаморфизма.

Метагенез

На стадии метагенеза происходит максимальное уплотнение осадочных пород, меняется их минеральный состав, структура. Преобразование пород происходит под влиянием тех же факторов, что и при катагенезе, но температура более высокая (200—300°C), выше минерализация и газонасыщенность вод, иные значения Eh и pH.

Изменение структуры пород проявляется в укрупнении размера зерен, в упорядочении их ориентировки, перекристаллизации с исчезновением фаунистических остатков. Завершается стадия метагенеза переходом осадочных пород в метаморфические.

Гипергенез



ФАКТОРЫ ЛИТОГЕНЕЗА

Формирование осадочных горных пород — сложный природный процесс, происходящий в различных условиях, которые определяются разнообразными факторами и силами земной и космической природы. Среди них ведущую роль играют **тектонические процессы**. Огромное влияние на осадкообразование оказывают **климат, рельеф, жизнедеятельность животных и растительных организмов**. Кроме того, на образование осадочных пород накладывают отпечаток газовый состав атмосферы, солевой состав и минерализация вод гидросферы, рН среды, интенсивность и формы проявления вулканической деятельности, состав пород в областях питания и др.

Тектонические колебательные движения способствуют трансгрессии и регрессии морских водоемов и, следовательно, перемещение береговых линий. Это отражается на составе и строении отлагающихся осадков. В общем случае регрессия сопровождается укрупнением размера обломочных частиц, трансгрессия ведет к накоплению более тонкозернистых осадков. В ряде случаев в результате регрессии могут образоваться обширные мелководные водоемы, имеющие ограниченную связь с открытым морем. В условиях жаркого засушливого климата соленость вод таких бассейнов существенно возрастает, что может вызвать осаждение различных солей.

Вследствие тектонических движений изменяются положение областей сноса осадочного материала на континентах, рельеф поверхности, скорость течения рек и временных потоков, что сказывается на минеральном составе и размере обломочного материала. Тектонические колебательные движения являются одной из основных причин слоистого строения осадочных толщ и периодичности осадконакопления, что выражается в неоднократной повторяемости в геологическом разрезе слоев пород одинакового или близкого литологического состава. В зависимости от амплитуды и продолжительности колебательных движений, чередующиеся слои могут иметь различную мощность — от долей сантиметра до нескольких метров, а слагаемые ими литологические комплексы достигать нескольких сотен метров.

Тектонический режим в значительной мере определяет скорость накопления осадочного материала. Установлено, что в геосинклиналях она выше, чем на платформах. По данным В.Е.Хайна (1956 г.) и А.Б.Ронова (1958 г.), средняя скорость накопления осадков в этих областях соответственно составляла 30 - 320 и 3— 13 мм за 1000 лет. Подмечено также, что скорость накопления осадков на равнинах ниже, чем в предгорьях, а в центральных частях океанических бассейнов — ниже, чем в прибрежных областях. Максимальные мощности и скорости накопления осадков характерны для областей компенсированного прогибания.

Большое влияние на формирование осадочных пород оказывают тектонические движения и магматизм, благодаря которым в процесс образования осадочного материала вовлекаются крупные массивы глубинных магматических и метаморфических пород.

Наконец, тектонический режим в значительной мере определяет размер и форму осадочных тел. В платформенных условиях, при региональном продолжительном погружении обычно образуются мощные геологические тела более или менее изометричной формы. В геосинклинальных прогибах — осадочные тела при значительной протяженности (сотни и тысячи километров) имеют небольшую ширину (десятки километров). С колебательными тектоническими движениями связано образование карбонатных органогенных построек рифового типа.

Существенную роль в формировании осадочных пород играет *рельеф* поверхности суши и дна водоемов. В горных районах может образовываться и перемещаться крупный обломочный материал — от первых миллиметров до нескольких метров. В равнинных областях обычно формируется мелкий обломочный материал, составляющий доли миллиметра. При скорости течения равнинных рек до 0,3—0,5 м/с может переноситься песок, алеврит, пелитовые частицы. Горные реки, скорость течения которых достигает 8—10 м/с, способны переносить валуны и даже глыбы. По мере выполаживания рельефа скорость течения континентальных водных потоков и их транспортирующие возможности убывают. В связи с этим в районах с сильно пересеченным рельефом накапливаются более крупнозернистые осадки, чем в пенепленизированных.

В морских условиях рельеф дна бассейна в значительной мере определяет характер распределения осадка. Пониженные элементы рельефа благоприятны для его накопления, а приподнятые нередко подвергаются размыву, при этом в первую очередь уносятся наиболее мелкие частицы, и вследствие этого происходит относительное обогащение осадка крупными частицами. При крутом уклоне дна (более $20\text{—}30^\circ$) осадочный обломочный материал, не задерживаясь в прибрежной зоне, скатывается на глубину и отлагается на уступах или в зоне выполаживания рельефа дна.

Климат также оказывает большое влияние на формирование осадочных пород. Сам он определяется многими причинами и факторами, среди которых ведущую роль играют интенсивность солнечной радиации, положение участков поверхности Земли относительно Солнца, прозрачность и состав атмосферы, гипсометрия суши, соотношение площадей суши и моря, интенсивность теплового потока Земли и т. д. Все эти факторы в значительной мере определяются тектоническими причинами.

В разных климатических зонах литогенез протекает по-разному. Н.М.Страхов выделяет 3 типа литогенеза: ледовый (нивальный), гумидный и аридный.

№	Тип литогенеза	Характеристика
1	<p>Гумидный – распространен во влажных, умеренно-влажных зонах, в тропиках и субтропиках, в экваториальных областях обоих полушарий. Преобладание положительных температур большую часть года, превышение количества выпадающих осадков над испарением, богатая органическая жизнь.</p>	<p>Гипергенез– широко развиты процессы физического, химического и биологического выветривания; Седиментогенез - главным агентом переноса является вода, второстепенными – ветер и сила тяжести; Диагенез – образуются практически все классы осадочных горных пород.</p>
2	<p>Аридный – развивается в обстановке пониженной влажности и повышенной температуры. Он характерен для континентов (пустыни, полупустыни, сухие степи), но может быть развит и во внутриконтинентальных озерных и морских бассейнах (Каспийское, Красное моря и др.).</p>	<p>Гипергенез - преобладают процессы физического выветривания, химические и биологические - подавлены. Седиментогенез - главным агентом переноса является ветер, второстепенными вода и сила тяжести; Диагенез - процессы очень сложны. Образуются преимущественно обломочные и хемогенные породы.</p>
3	<p>Нивальный - проявляется в полярных и высокогорных областях . Преобладают низкие температуры, характерен дефицит влаги, бедная органическая жизнь.</p>	<p>Гипергенез – преобладают процессы физического выветривания, химические и биологические – подавлены; Седиментогенез – главным агентом переноса является лед, второстепенными – вода и сила тяжести; Диагенез – проявляется главным образом в уплотнении пород.</p>