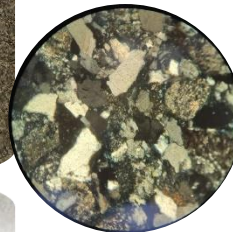


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Инженерная школа природных ресурсов
Специальность 21.05.02. Прикладная геология
Отделение геологии



КУРС ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ЛИТОЛОГИЯ»

ЛЕКЦИЯ 2
ЛИТОГЕНЕЗ. СТАДИИ
ЛИТОГЕНЕЗА

Лектор: к.г.-м.н., доцент
Отделения геологии
Недоливко Н.М.

Томск – 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ

Литогенез. Стадии литогенеза

2.1. ПОНЯТИЕ «ЛИТОГЕНЕЗ»

2.2. СТАДИИ ЛИТОГЕНЕЗА

- 1. Гипергенез**
- 2. Седиментогенез**
 - **Перенос материала**
 - **Осаждение и аккумуляция**
- 3. Диагенез**
- 4. Катагенез**
- 5. Метагенез**

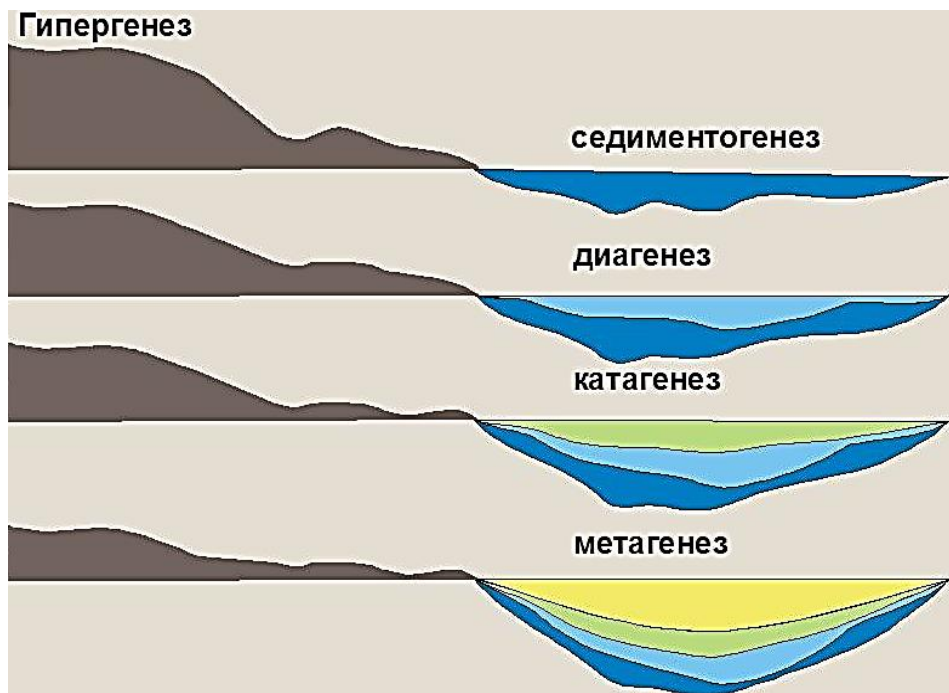
Литогенез – это совокупность природных процессов, приводящих к образованию и последующему изменению осадочных горных пород

(от греч. lithos – камень и genesis – рождение, возникновение, происхождение)

Последовательность процессов и стадии образования осадочных горных пород

1. Образование исходных продуктов (*Гипергенез*)
2. Перенос материала
3. Осаждение осадков
4. Аккумуляция осадков
5. Биологическое и физико-химическое преобразование осадков и превращение их в литифицированную породу (*Диагенез*)
6. Дальнейшее преобразования пород в условиях возрастающих по мере погружения пород на глубину температур и давлений (*Катагенез*)
7. Начало коренной структурно-минералогической перестройки в условиях высоких температур и давлений (*Метагенез*)

Седиментогенез



Определение осадочной породы с позиций стадийного литогенеза



(1 стадия)



(2 стадия)



(3 стадии)



(4-5 стадии)

Осадочные горные породы – это горные породы,

- сформированные в термодинамических условиях, характерных для поверхностной части земной коры в результате разрушения и выветривания ранее образованных различных по составу и происхождению горных пород *(1 стадия)*

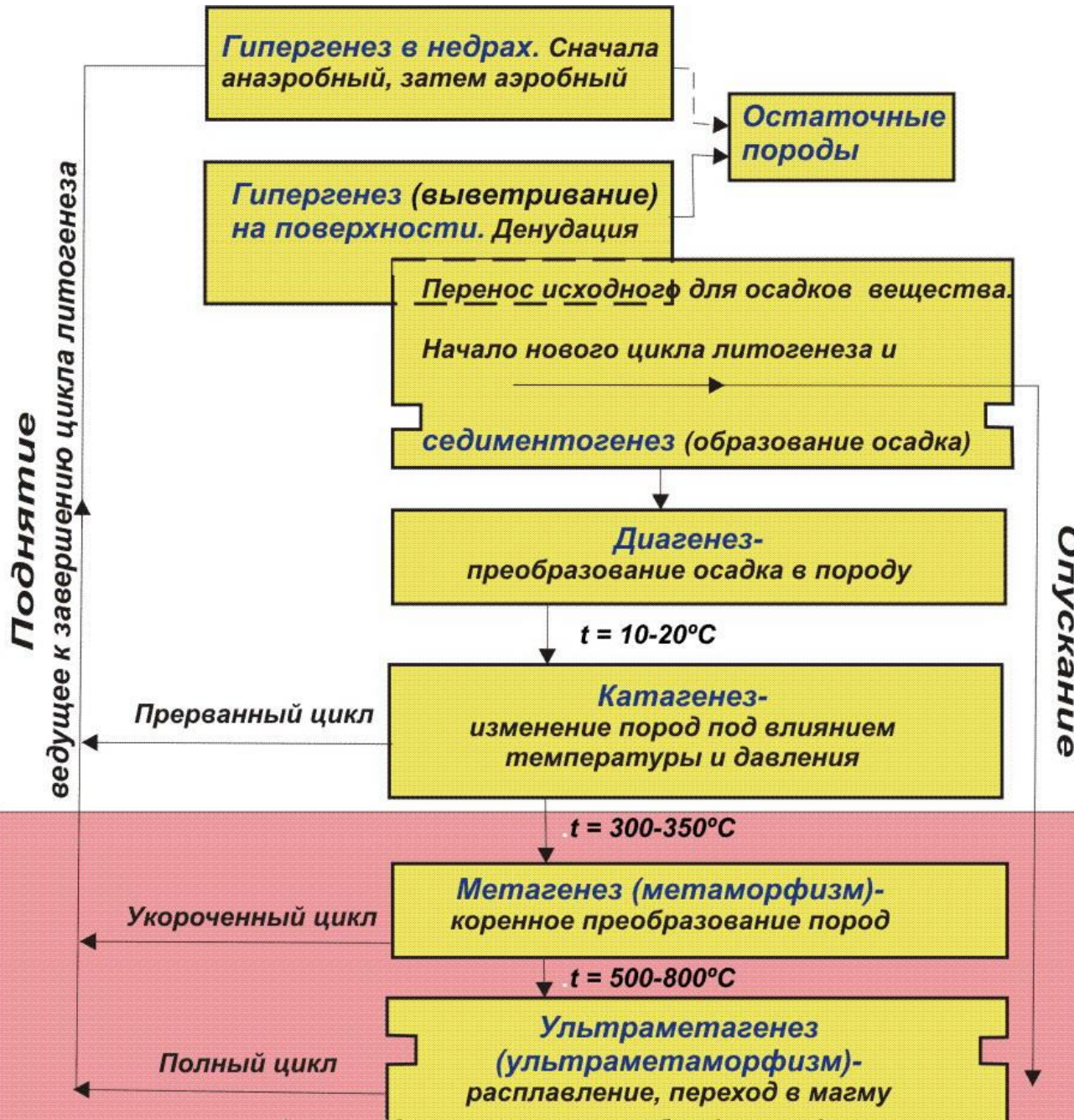
- переотложения и переноса продуктов выветривания, осаждения их в водной или воздушной среде механическим, химическим, биологическим путем или в результате всех трех процессов одновременно *(2 стадия)*,

- преобразования отложившегося осадка и превращения его в плотную горную породу *(3 стадия)*,

- дальнейшего преобразования осадочной горной породы в условиях возрастающих температур и давлений по мере погружения ее на глубину *(4 стадия)*,

- коренной перестройки в условиях высоких температур и давлений вплоть до условий метаморфизма *(5 стадия)*

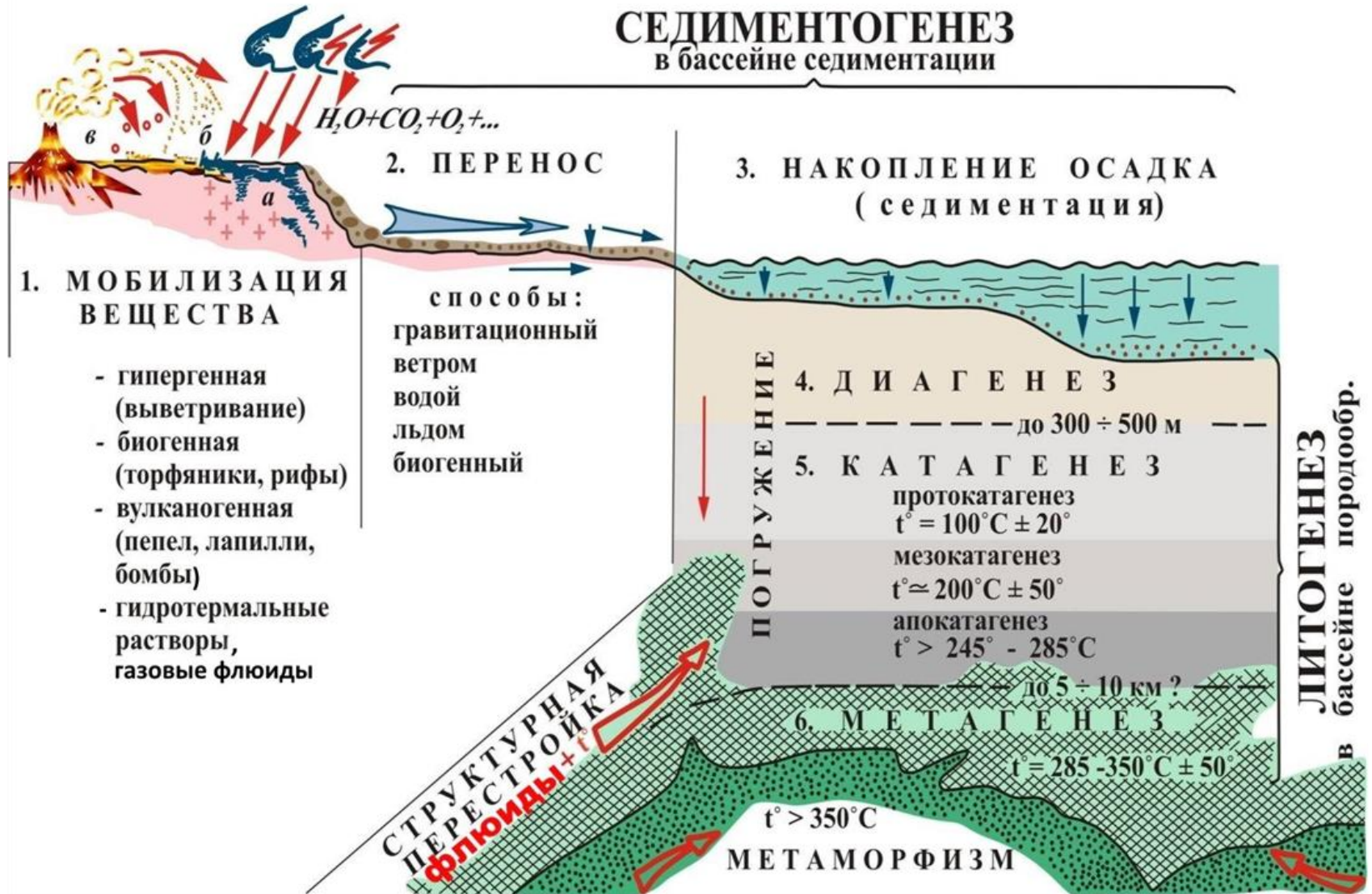
Общая схема стадий литогенеза (по Н.Б. Вассоевичу)



1. Гипергенез
2. Седиментогенез
3. Диагенез
4. Катагенез
5. Метагенез

**Схема формирования осадка и осадочных пород, по О.В. Япаскурту (2008)
с дополнениями Н.Ф. Столбовой (2013)**

СЕДИМЕНТОГЕНЕЗ
в бассейне седиментации



ГИПЕРГЕНЕЗ

(от греч. hyper – над, сверх, поверх и genesis – происхождение, образование)
– это начальная стадия прогрессивного литогенеза, протекающая в приповерхностных и поверхностных условиях Земли, стадия образования и мобилизации материала, который в дальнейшем служит для образования осадочных пород

Условия гипергенеза:

- Поверхностные участки Земли
- Температура -60°C – $+60^{\circ}\text{C}$;
- Давление 1-25 атмосфер;
- Высокая концентрация кислорода, воды, углекислого газа;
- Органический мир

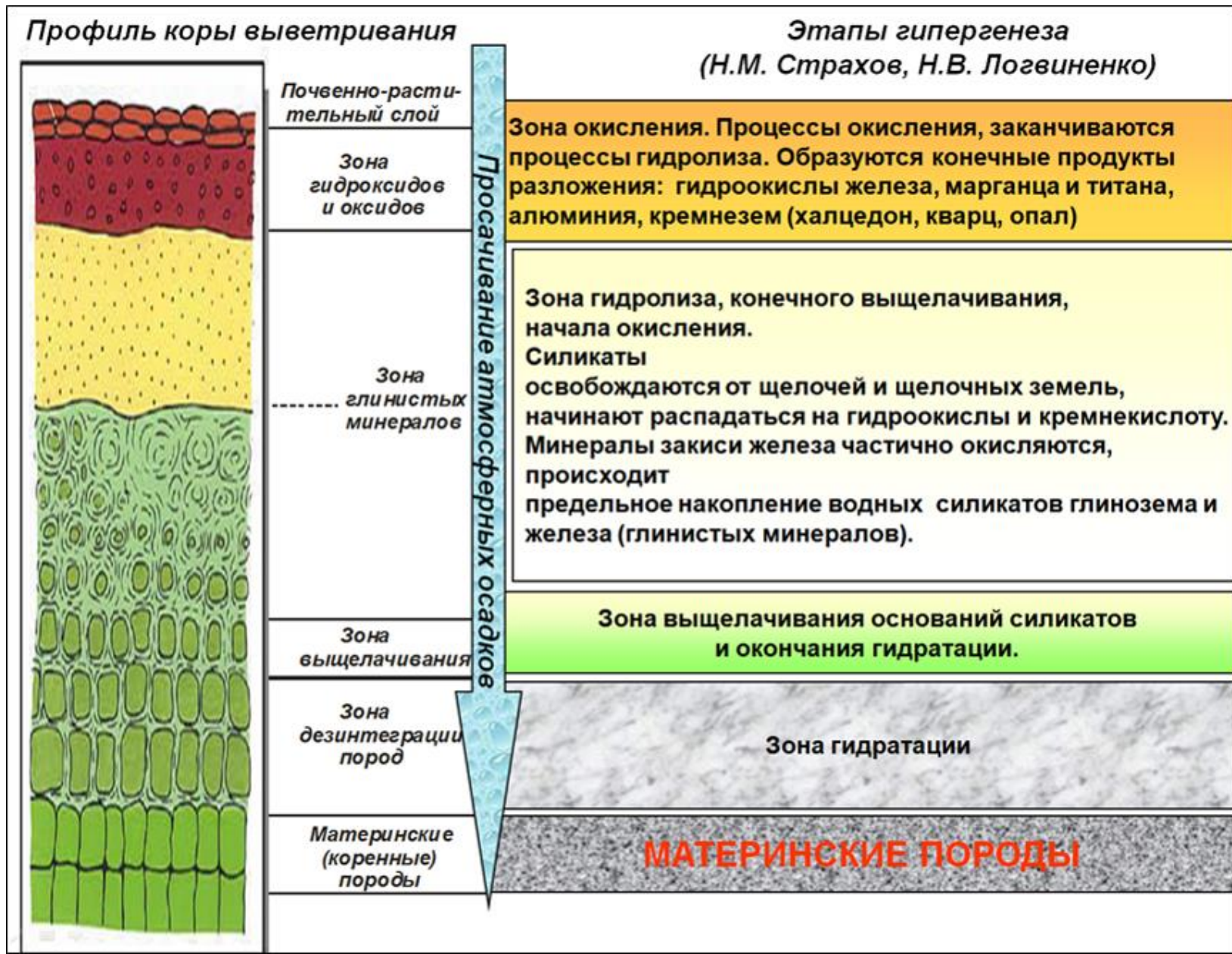
На стадии гипергенеза осуществляется:

1) изменение ранее образовавшихся горных пород (физическое, химическое, биологическое выветривание), образование кор выветривания

2) образование особых типов пород (*остаточные породы – ЭЛЮВИЙ*), химического происхождения минуя стадию Седиментогенеза

3) формирование исходного обломочного, химического (и в ряде случаев биологического) материала для осадков, превращающихся затем в осадочные горные породы

Этапы гипергенеза и преобразование пород



Кора выветривания –

континентальная геологическая формация, образовавшаяся на земной поверхности в результате изменения исходных горных пород под воздействием жидких и газообразных атмосферных и биогенных агентов

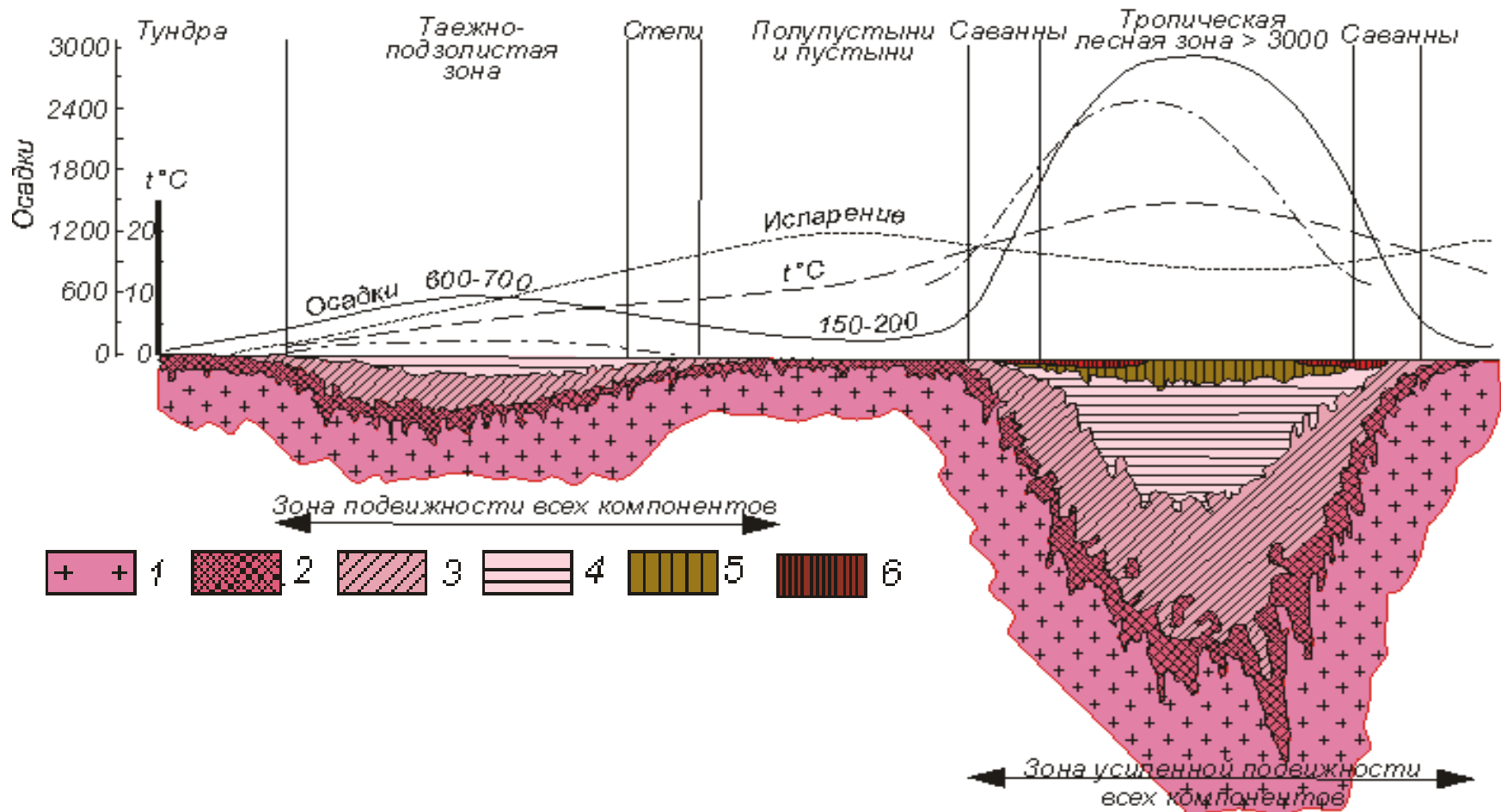


Зона коры выветривания –

часть коры, обладающая определенным минеральным составом, физическими свойствами и структурно-текстурными особенностями.

Профиль коры выветривания – совокупность зон выветривания

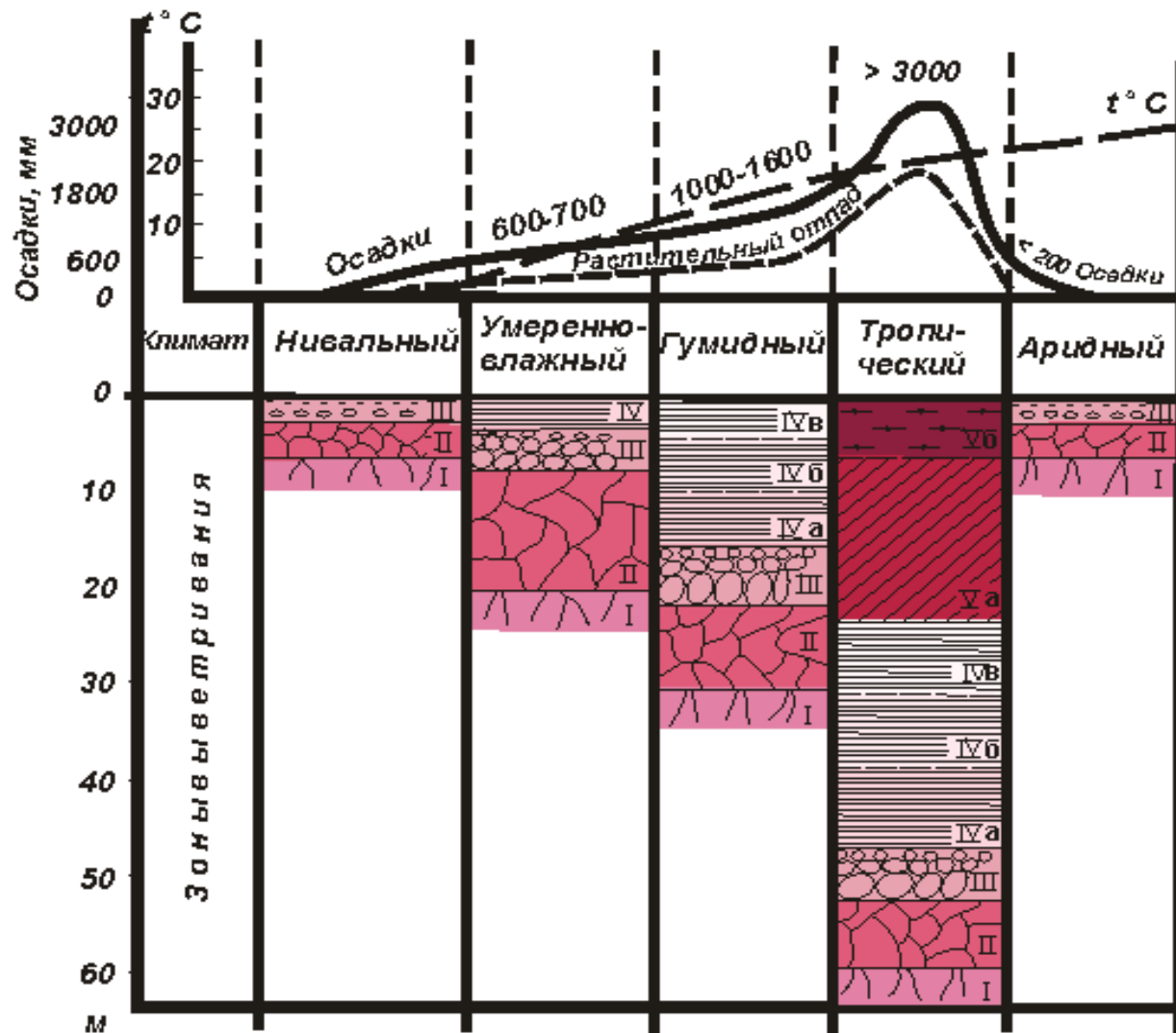
Минерально – геохимические зоны коры выветривания:



- 6 – панцирь, $Fe_2O_3+Al_2O_3$
- 5 – охры, Al_2O_3
- 4 – каолиновая
- 3 – гидрослюдисто-монтмориллонитово-бейделлитовая
- 2 – зона дресвы, химически мало измененной
- 1 – свежая материнская порода

- 4. Гидроксидов и оксидов
- 3. Глинистых минералов
- 2. Выщелачивания
- 1. Дезинтеграции

Толщина минерально – геохимических зон коры выветривания:



Полезные ископаемые зоны гипергенеза:

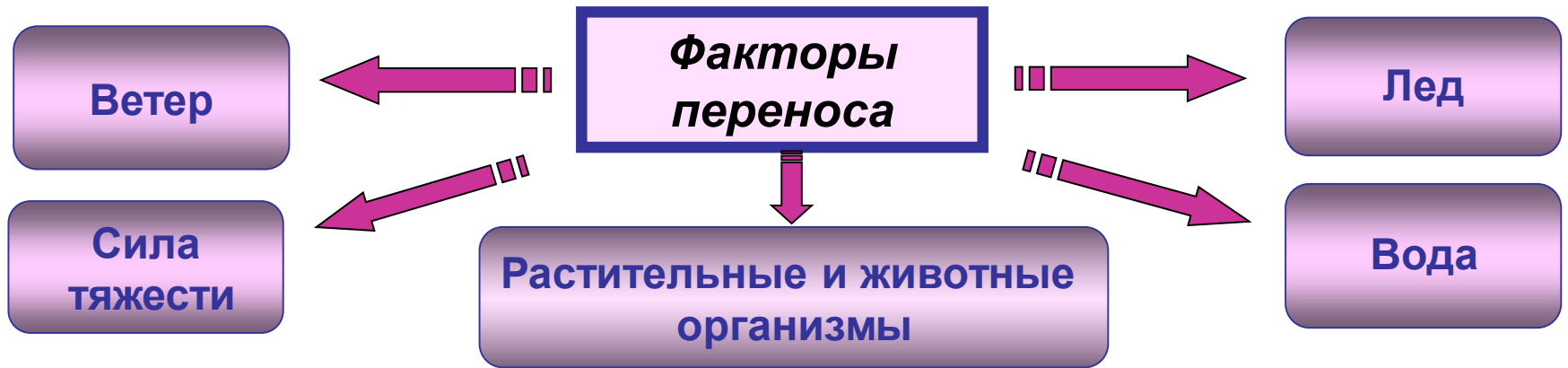
- руды черных металлов: железа, марганца;
- руды цветных металлов: алюминия, никеля, кобальта;
- энергетические ресурсы: уран;
- нерудные: каолины, огнеупорные глины, магнезиты;
- редкие элементы, барий;
- россыпные месторождения: золото, платина, касситерит, алмазы, титаномагнетит, цирконий, монацит и др.

Седиментогенез - перенос, осаждение и накопление осадочного материала на путях переноса и в конечных водоемах стока

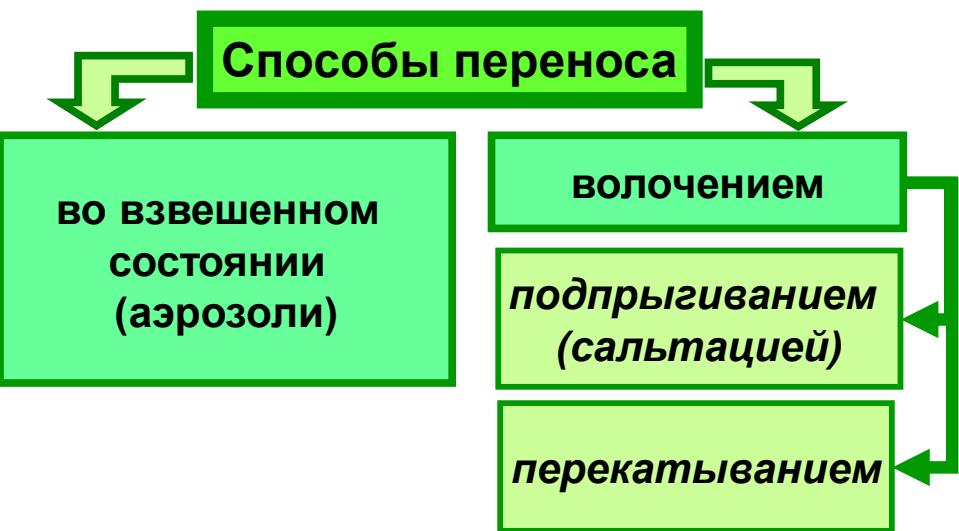
ЭТАП ПЕРЕНОСА ОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА



Факторы переноса



ПЕРЕНОС ВОЗДУХОМ (ВЕТРОМ)



В результате перемещения обломков волочением образуются:

- ❖ пересейанные пески: холмики, барханчики с поперечной рябью, поперечные дюны и крупные барханы – волны песка с определенной длиной высотой до 50-80 м (редко до 100 м и более);
- ❖ хорошо отсортированные (но хуже речных и морских) и хорошо окатанные пески, реже гравелиты и мелкие галечники;
- ❖ пески с шаровидными окатанными зернами с матовой, или морозной, поверхностью.

При переносе во взвеси формируются золотые лёссы – глинисто-алевритовые осадки со слоистостью облекания или горизонтальной слоистостью, которые образуют плащеобразные покровы, площадью до нескольких десятков, реже сотен километров.

Дальность переноса частиц ветром умеренной силы

Гранулометрический тип	Размер, мм	Дальность переноса
Гравий	1-8	несколько метров
Грубый и средний песок	1-0,25	менее 1,5 км
Очень тонкий песок	0,05-0,125	несколько километров
Грубый алеврит	0,03-0,06	323 км
Средний алеврит	0,015-0,03	1630 км 15
Тонкий алеврит и глина	0,015	вокруг Земли

ПЕРЕНОС ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ (ГРАВИТАЦИОННЫЙ ПЕРЕНОС)

Без участия воды

Обвалы

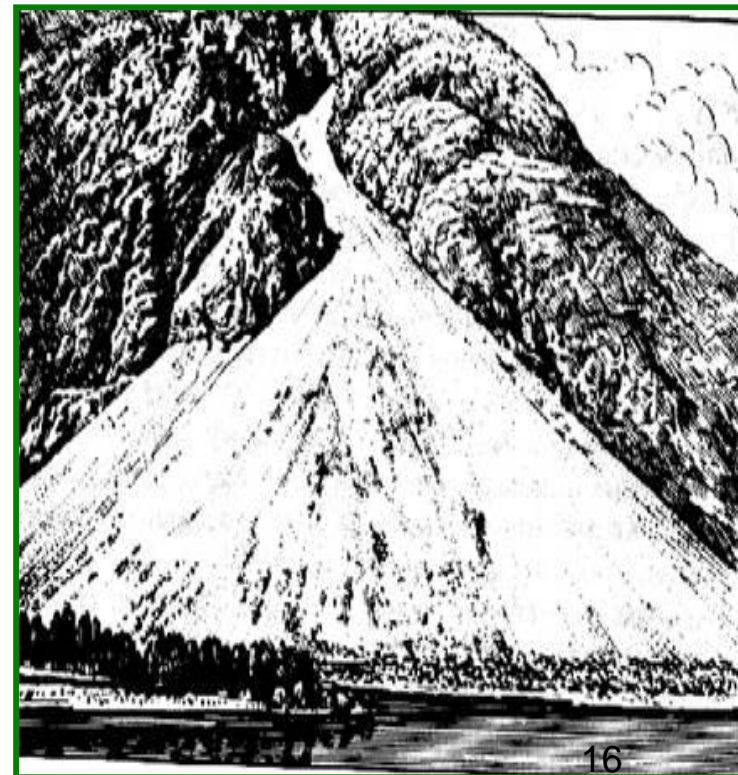
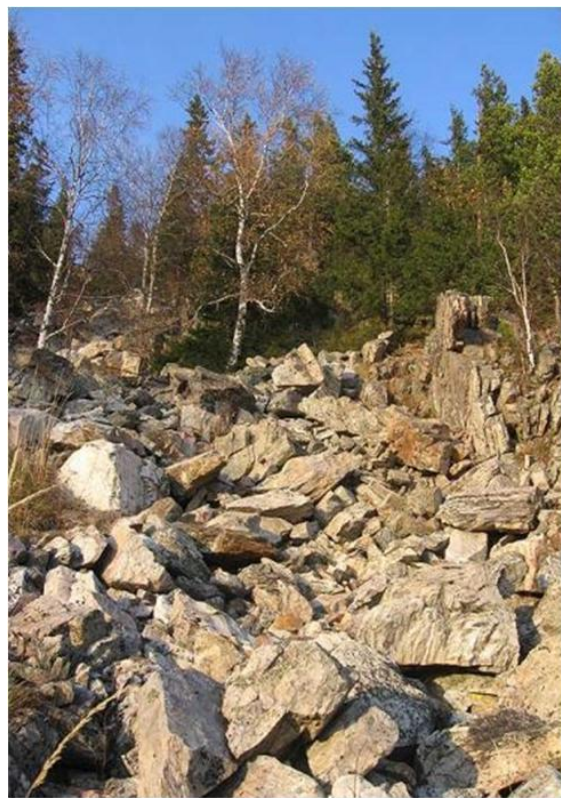
Осыпи

Оползни

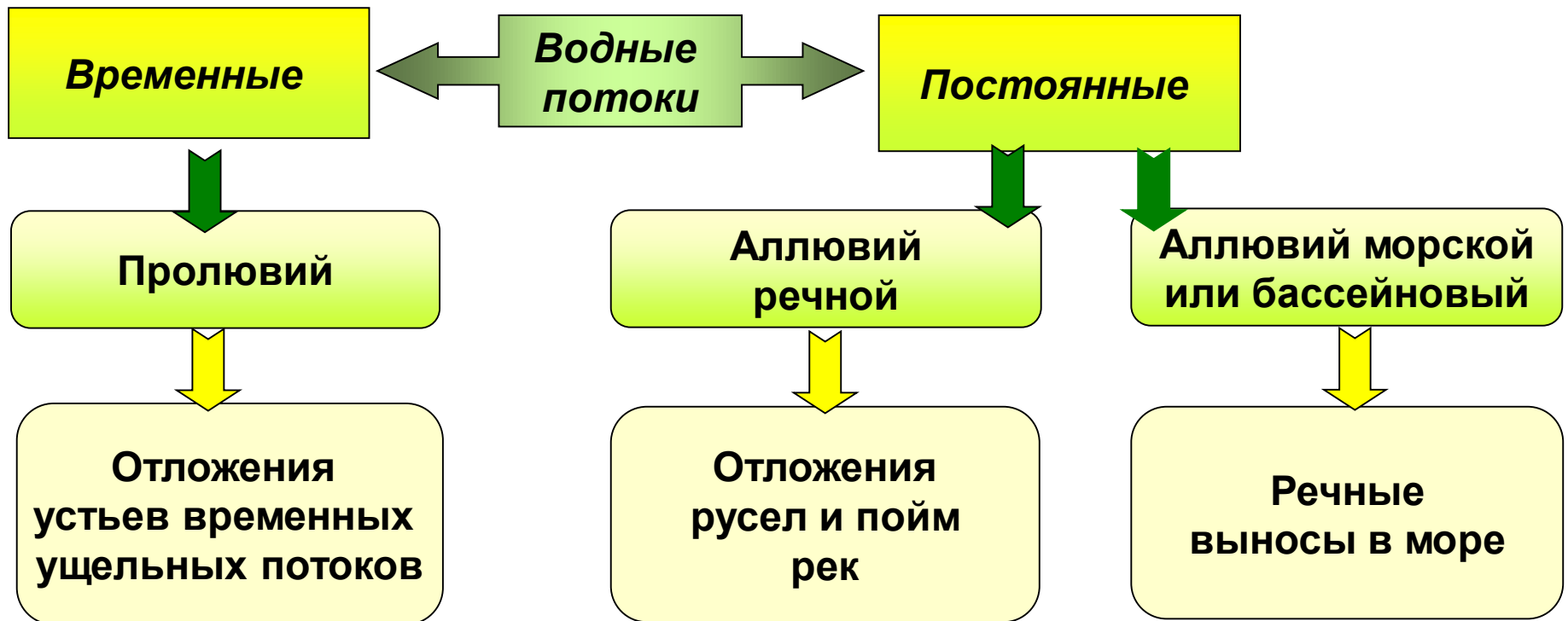
С обязательным участием воды

Солифлюкционные
отложения

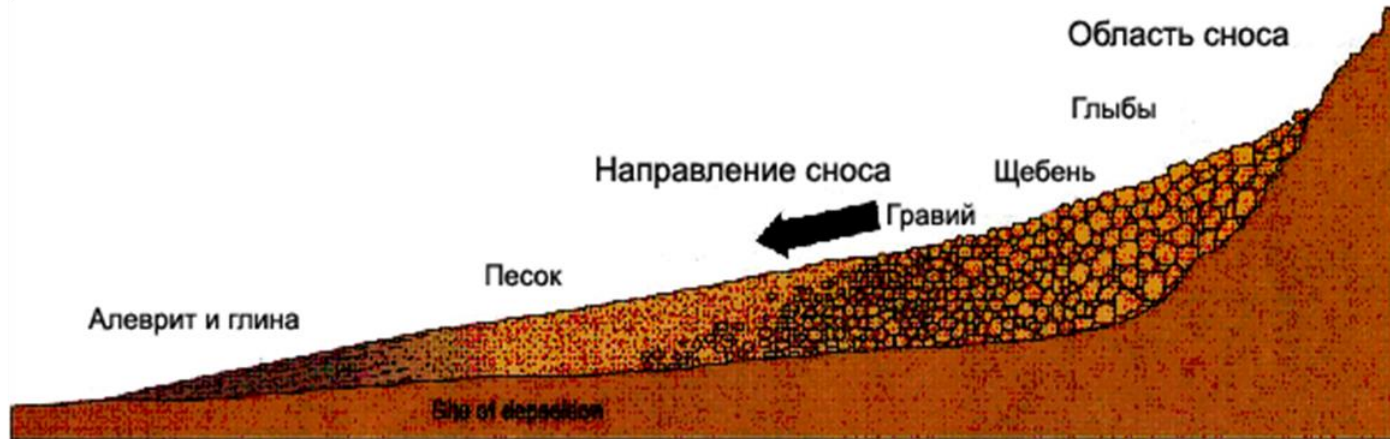
Делювий



ПЕРЕНОС РУСЛОВЫМИ ВОДНЫМИ ПОТОКАМИ –
основной путь миграции вещества на континентах,
перемещающий большую часть осадочного материала
(возможно больше 90 %)

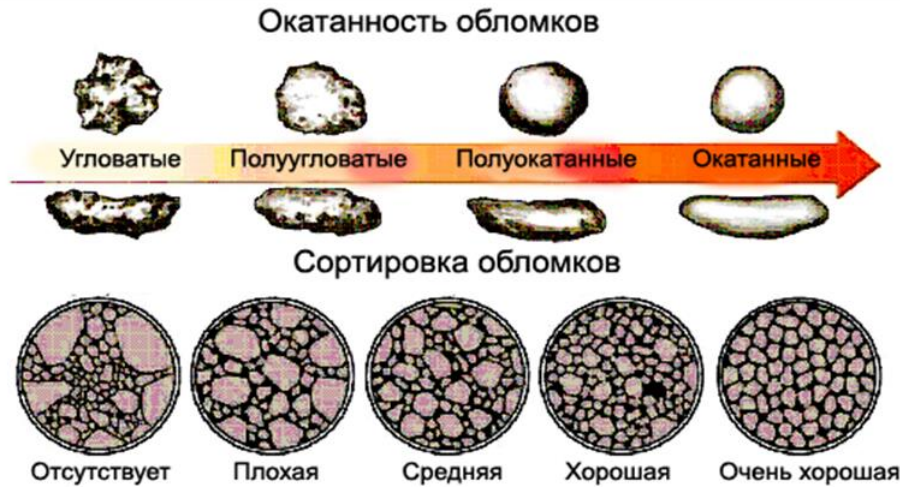


Дифференциация обломочного материала по мере удаления от источников сноса



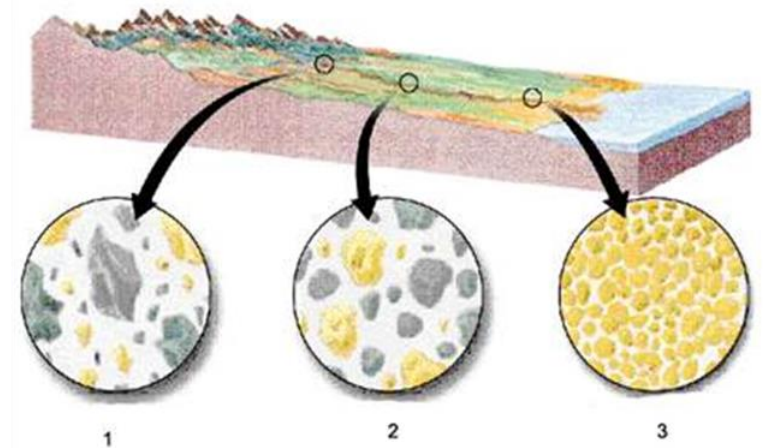
Гранулометрическая дифференциация

<https://konspekta.net/lektiionimg/baza6/4993092935443.files/image090.jpg>



Увеличение окатанности и степени сортировки

<https://konspekta.net/lektiionimg/baza6/4993092935443.files/image099.jpg>



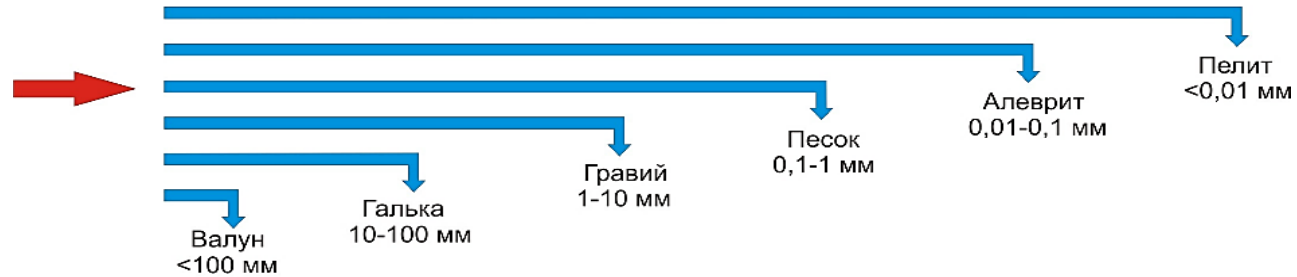
Петрографическая дифференциация:

1 – граувакки; 2 – аркозы, 3 – кварцевые пески

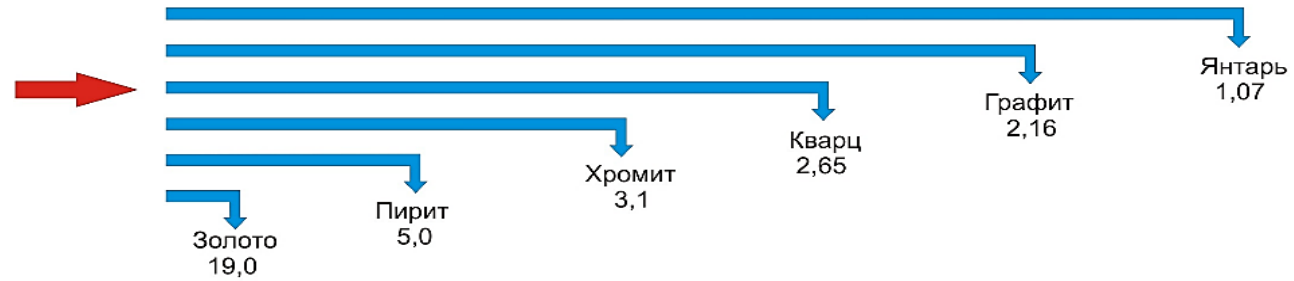
<https://konspekta.net/lektiionimg/baza6/4993092935443.files/image006.jpg>

Механическая дифференциация веществ по крупности (1), удельному весу (2) и форме обломков (3)

1. Разделение по размерам (крупности)



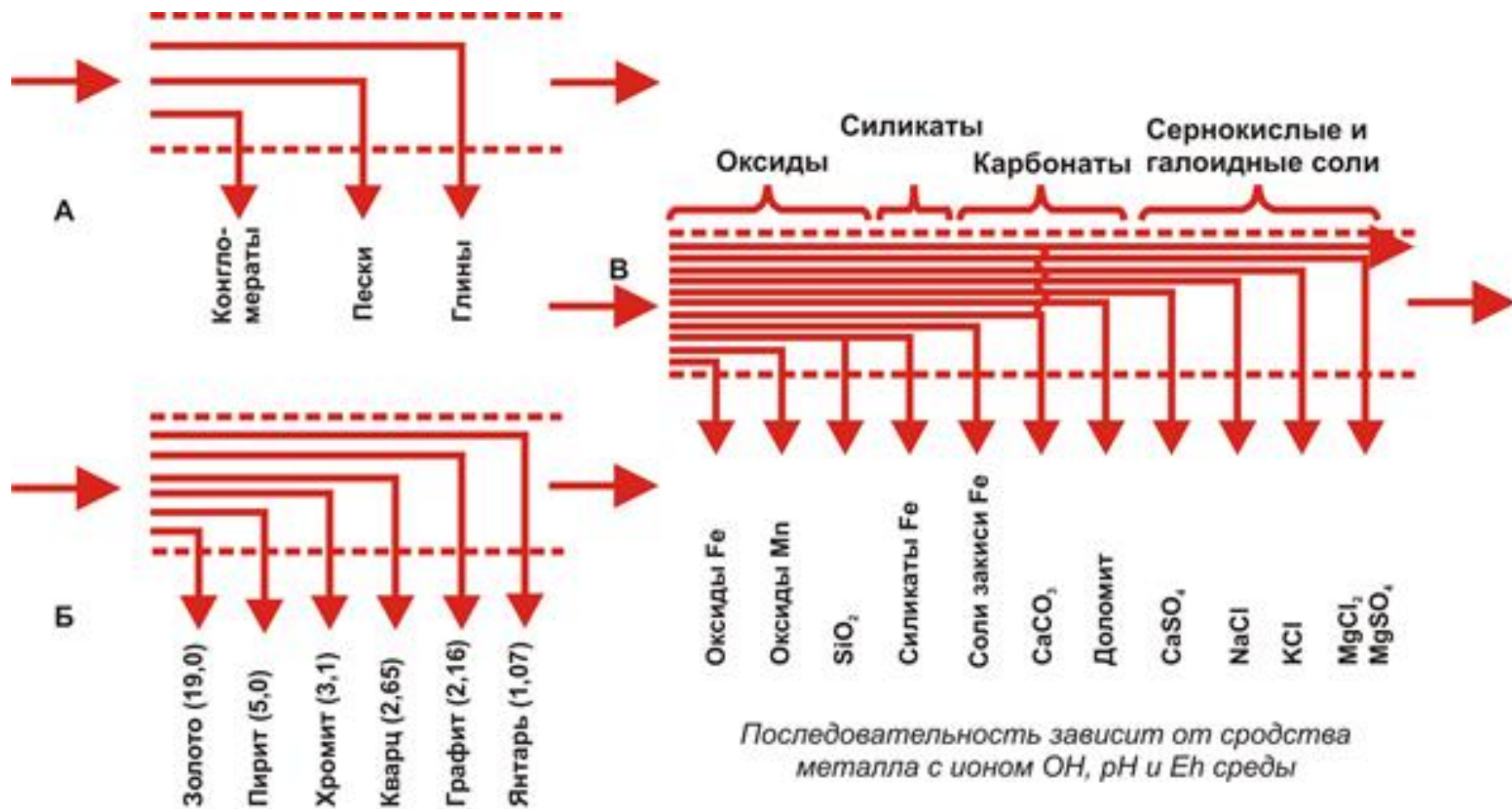
2. Разделение по удельному весу



3. Разделение по форме



Схема механической (А, Б) и химической (В) дифференциации веществ (по Л.В. Пустовалову)

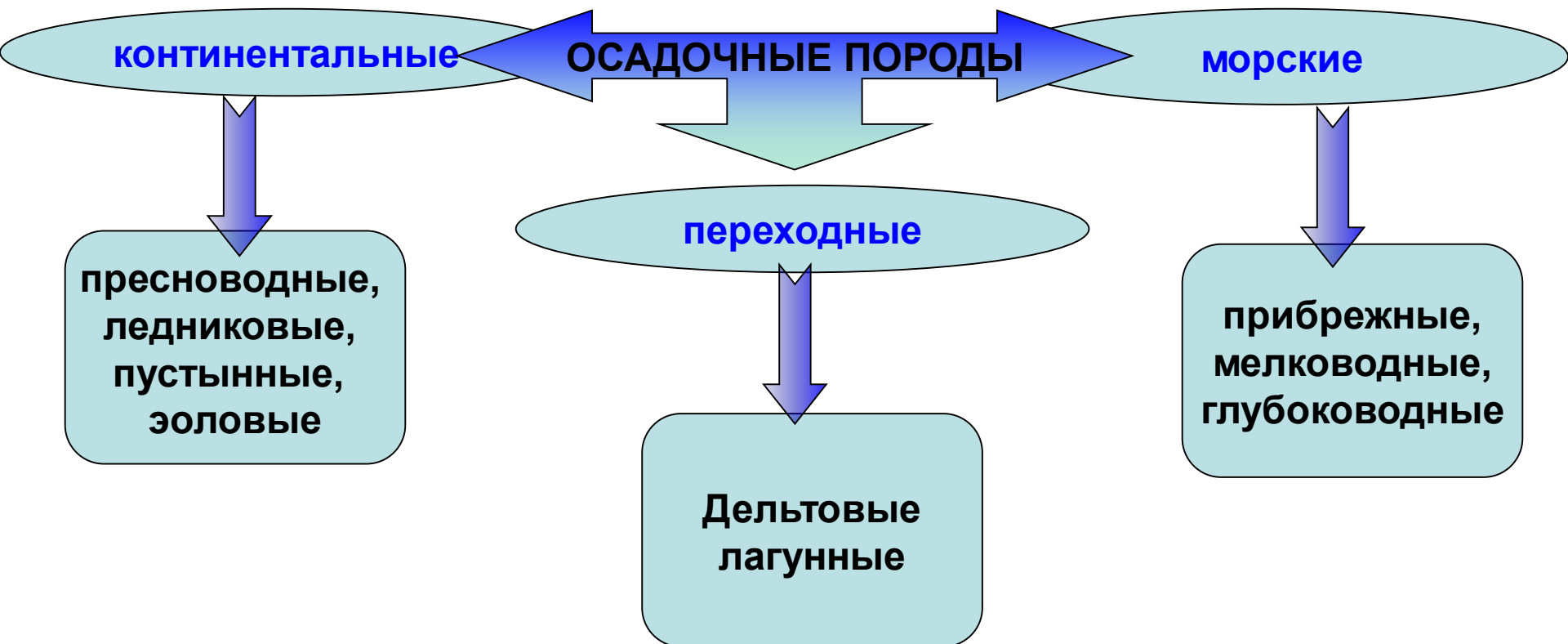


Полезные ископаемые седиментогенеза

- аллювиальные (речные) россыпные месторождения: золота, платины, олова, вольфрама, титана, ниобия, тантала, ильменита, циркония, алмазов, гранатов, горного хрусталя, янтаря и других.
- коллекторы, флюидоупоры, нефтегазоматеринские породы,
- строительные материалы: глины, песок, гравий, галька;
- горючие полезные ископаемые: торф, сапропель, бурый и каменный уголь, нефть, газ;
- калийные и магниевые соли, бишофит.

Седиментогенез – этап осаждения и аккумуляции обломочного, химического и биологического материала

По месту образования



Пути осаждения материала в бассейне седиментации

Механический

Биогенный

Химический

**Обломочные
породы**

**Органические
породы**

**Химические
породы**



Диагенез

– физико-химическое уравнивание насыщенного водой осадка, завершающееся преобразованием его в осадочную горную породу.

Диагенез (от греч. диагенезис – перерождение) – это стадия превращения образованных в седиментогенезе рыхлых осадков, накопившихся на дне седиментационных бассейнов, в плотную осадочную горную породу верхней зоны земной коры.

Условия диагенеза:

1. Поверхностные условия Земли (глубина залегания пород от поверхности от 10 см до 500-1000 м),
2. Относительно низкие положительные температуры (до 50-60 °С),
3. Низкое (поверхностное и приповерхностное) давление,
4. Смешанный состав (обломочные, химические и органические компоненты) осадка и его высокая влажность (более 50%, в глинистых осадках – до 80-90%),
5. Наличие органических остатков (растительного и животного происхождения) и обилие микроорганизмов (бактериального мира),
6. Высокая концентрация веществ в иловых водах,
7. Общая физико-химическая неравновесность,
8. Изменчивые окислительно-восстановительные (Eh) и кислотнo-щелочные (pH) условия,
9. Проницаемость осадка, обеспечивающая почти беспрепятственный диффузионный обмен ионами и газами.

Результат диагенеза:

- Физико-мимическое и биохимическое уравнивание осадка;
- Обезвоживание и уплотнение осадка под действием геостатической нагрузки перекрывающего более позднего осадка;
- Растворение неустойчивых и образование новых (аутигенных) устойчивых при диагенезе минералов и цементация обломочных пород;
- Кристаллизация химических осадков;
- Замещение органогенных остатков;
- Образование конкреций.
- Образование керогена;
- Уплотнение, цементация, литификация осадка;
- Образование плотной осадочной горной породы;
- Диагенетическое трещинообразование.

Полезные ископаемые

- Стратиформные (т.е. приуроченные к определенным стратиграфическим уровням: пласты, горизонты) рудные месторождения Cu, Pb, Zn, Mn, Fe (сидеритовые руды) и др.;
- Строительные материалы: гравелиты, песчаники, скрытокристаллические известняки и доломиты;
- Минеральные (фосфориты) и органические (торф) удобрения;
- Горючие полезные ископаемые – торф.

Катагенез (иногда эпигенез)

(от др.-греч. ката – приставка, обозначающая движение вниз и γένεσις – развитие)
– дальнейшее изменение породы по мере увеличения глубины ее захоронения под влиянием возрастающих температуры и давления, а в некоторых случаях и воздействия водных растворов и газов.

Условия катагенеза:

1. Закрытость системы;
2. Высокая температура – от 30-50 до 200-250 °С;
3. Высокое литостатическое давление – от 10-20 до 150-200 МПа и более;
4. Глубина – от 100-500 м до 5-10 км (до 15-20 км);
5. Геологическое время – от первых десятков млн. лет до 2,5 млн. лет.

Агенты изменения пород при катагенезе:

1. Возрастающие давление и температура;
2. Отжимаемые из уплотняющихся пород растворы (элизонные воды);
3. Жидкие и газообразные вещества – продукты преобразования ОВ.

Шкала катагенеза и температуры углефикации (по Н.Б. Вассоевичу, А.Э. Конторовичу)

Зона	Подзона	Градация	ПОВ на верхней границе градации		Марка угля	Температура углефикации, °С
			Ra, %	Ro, %		
Катагенез	Протокатагенез				Бурые	
		ПК ₁	5,7	0,24	Б ₁	от Б ₁ до Б ₃
		ПК ₂	6,0	0,3	Б ₂	> 35 до 90-100
		ПК ₃	6,6	0,4	Б ₃	Б ₃ →Д от 100 до 125
	Мезокатагенез	МК ₁	7,0	0,50	Длиннопламенные	Д→Г от 125 до 140
		МК ₂	7,5	0,62	Газовые	Г→Ж от 140 до 170
		МК ₃	8,5	0,94	Жирные	Ж→К от 170 до 195
		МК ₄	9,1	1,17	Коксовые	К→Ос от 195 до 225
		МК ₅	10	1,60	Отощенные спекающиеся	Ос→Т от 225 до 245
	Апокатагенез	АК ₁	10,8	2,00	Тощие	Т→А ₁ от 245 до 265
		АК ₂	11,6	2,50	Антрациты А ₁	А ₁ →А ₂ от 265 до 285
Метагенез	АК ₃₋₄	>13	>3,40	Антрациты А ₂ Антрациты графитистые А ₃₋₄	А ₂ →А ₃₋₄ от 285 до 300-350	

Результат катагенеза:

- 1. Дальнейшее уплотнение пород;**
- 2. Перекристаллизация;**
- 3. Образование новых минералов;**
- 4. Образование горючих, рудных и нерудных полезных ископаемых;**
- 5. Образование катагенетических трещин**

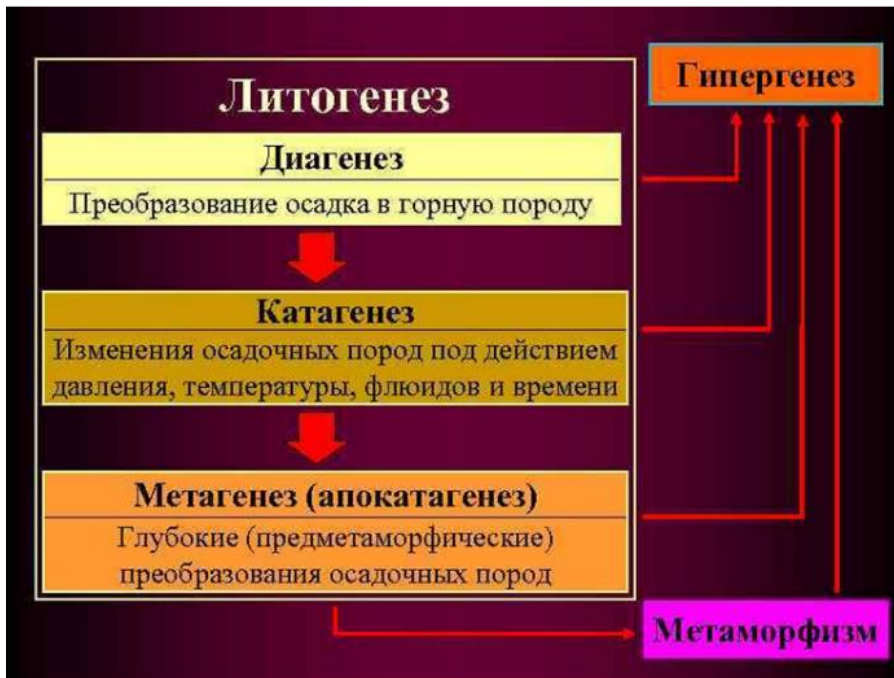
Полезные ископаемые, образованные при катагенезе:

- горючие полезные ископаемые (бурые, каменные угли, антрациты, нефть, природный газ),**
- некоторые руды железа, магния,**
- стратиформные месторождения цветных металлов, урна, ванадия,**
- мраморы, халцедонолиты и другие поделочные и декоративные камни.**

Метагенез

Метагенез (от греч. μετα – между, после и γένεσις – происхождение, рождение) – это следующая за катагенезом и предшествующая региональному метаморфизму стадия, осуществляющаяся в нижней части стратисферы (от лат. stratum – настил, слой и sphaira – шар) – осадочной оболочки Земли, выраженная в существенных структурных и минеральных преобразованиях осадочных горных пород и преобразование их в метаморфизованные породы.

Особенности стадии метагенеза (апокатагенеза)



Положение стадии метагенеза в литогенезе

https://present5.com/presentation/29092926_277859787/image-26.jpg

Стадии литогенеза (по Н.Б. Вассоевичу)

Стадия	Градация	Шкала углефикации
Диа́генез		Торф
Протоката́генез		Б
Мезоката́генез	МК ₁	Д
	МК ₂	Г
	МК ₃	Ж
	МК ₄	К
	МК ₅	ОС
Апоката́генез (мета́генез)	АК ₁	Т
	АК ₂	ПА
	АК ₃	А
	АК ₄	
Метаморфизм		Графит

Градации метагенеза (апокатагенеза)

https://present5.com/presentation/29092926_277859787/image-39.jpg

Процессы:

- Перекристаллизация ранее образованных аутигенных минералов и глинистого вещества;
- Растворение и перекристаллизация под давлением главных породообразующих минералов осадочных горных пород;
- Образование новых парагенетических минеральных ассоциаций: диоктаэдрическая слюда, серицит (мусковит), хлорит, кварц, карбонаты;
- Образование метаморфизованных осадочных горных пород, являющихся переходными от осадочных к метаморфическим:
 - аргиллиты → глинистые сланцы → аспидные сланцы → филлитовидные породы,
 - песчаники → метапесчаники → кварцитовидные песчаники → кварциты,
 - известняки → кристаллические известняки,
 - доломиты → кристаллические доломиты,
 - антрациты → графитизированные антрациты

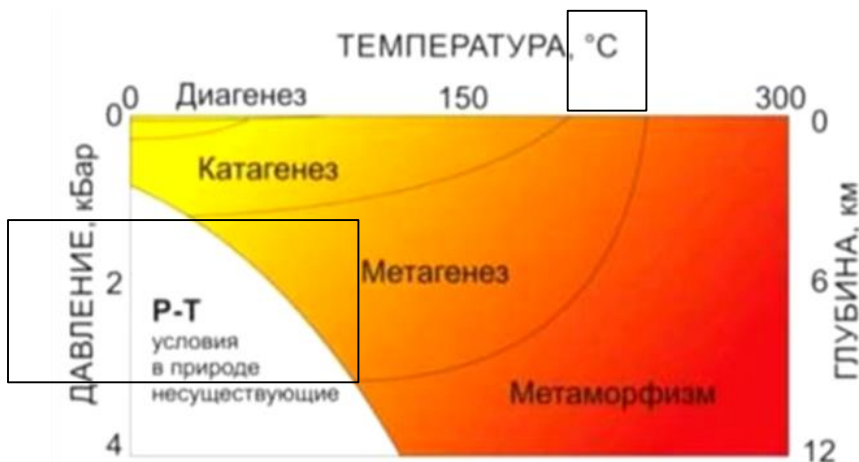
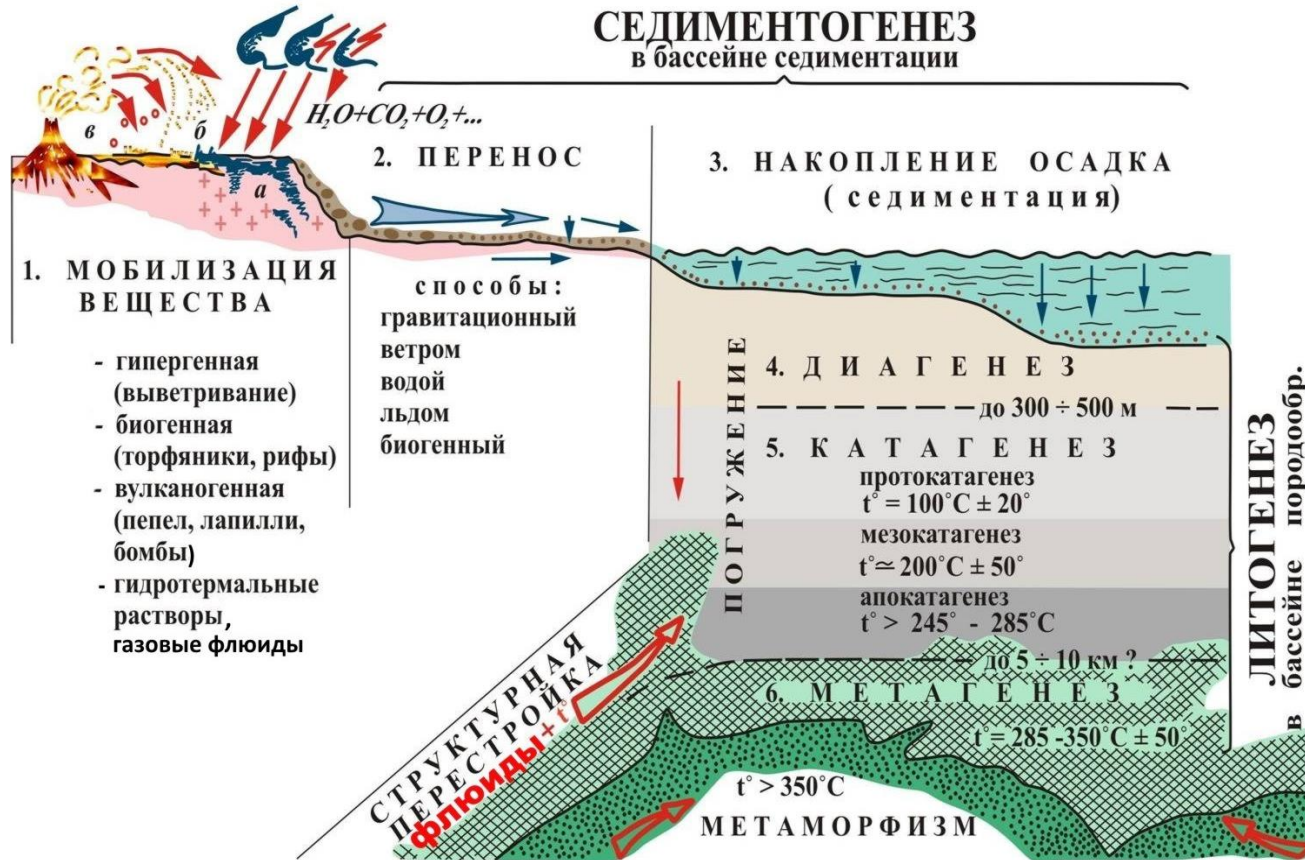


Схема формирования осадка и осадочных пород, по О.В. Япаскурту (2008) с дополнениями Н.Ф. Столбовой (2013)



ГЕНЕЗИС ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

Гипергенез
формирование осадочного материала

выветривание
жизнедеятельность
вулканизм
космическое влияние

Седиментогенез
формирование осадка

перенос:
гравитация, ветер,
вода, лед;
отложение
переоотложение
накопление

Диагенез
литификация осадка

уравновешивание
многокомпонентной системы:
биохимическое,
физическое,
химическое

Катагенез
термобарическое преобразование ОГП
 $T - 0 - 200^{\circ}, P - 0 - 200\text{МПа}$

удаление воды
увеличение плотности
минеральные преобразования
углефикация ОВ ПК₁ - МК₅

Метагенез
термобарическое преобразование ОГП
 $T - 200 - 370^{\circ}, P > 200\text{МПа}$

перекристаллизация
грануляция
кливаж
рассланцовка
минеральные преобразования
углефикация ОВ АК₁ - АК₄