

Литология

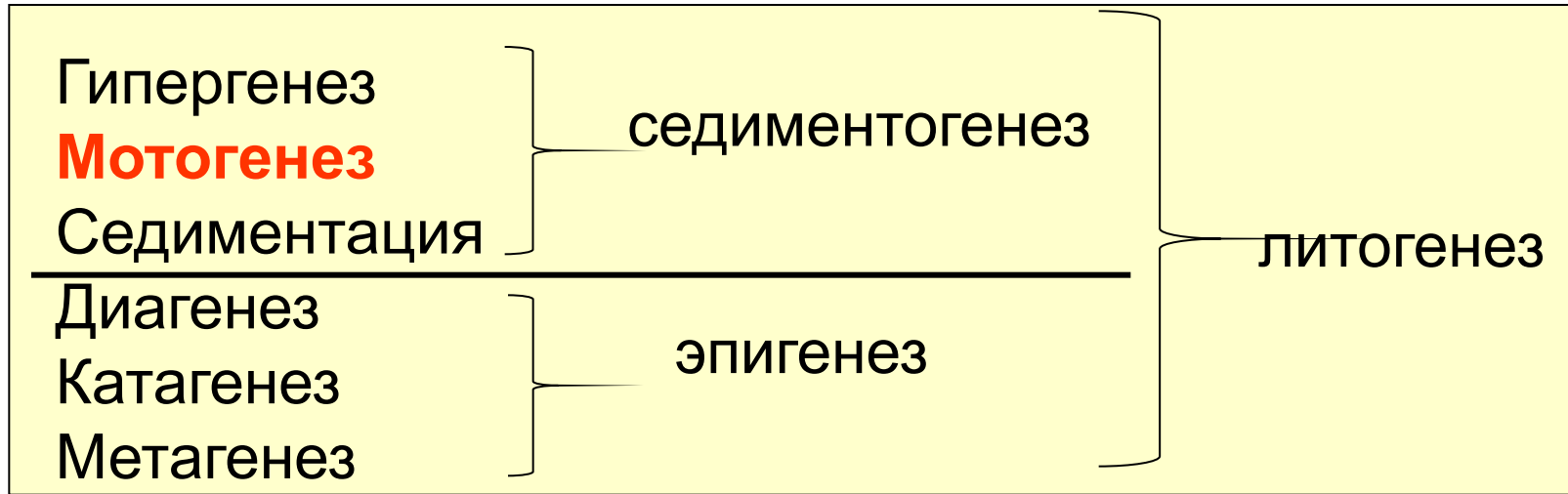
Лекции 3-4

Седиментогенез

Доц. каф. Осадочной геологии
А.А. Крылов

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, водой, льдом.

Стадии литогенеза (стадиальный анализ):



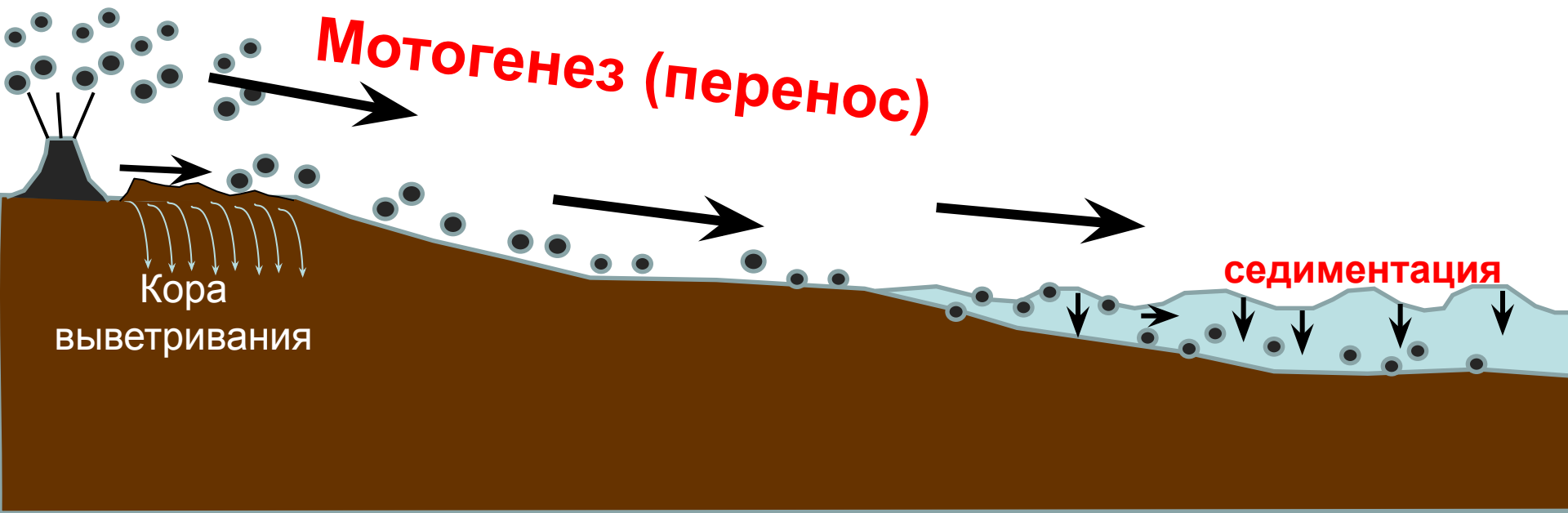
Седиментогенез состоит из трех этапов:

- 1) *мобилизация (гипергенез),*
- 2) *перенос и*
- 3) *осадкообразование.*

Перенос часто называют **мотогенезом** (по Г. Ф. Крашенинникову, В.Т. Фролову).

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, водой, льдом.

В результате **мотогенеза** осадочное вещество направляется **от водоразделов к долинам**, а **от континентов**, подвергающихся глобальной абразии (соскабливанию) и механической и химической разгрузке, к **океанам**.

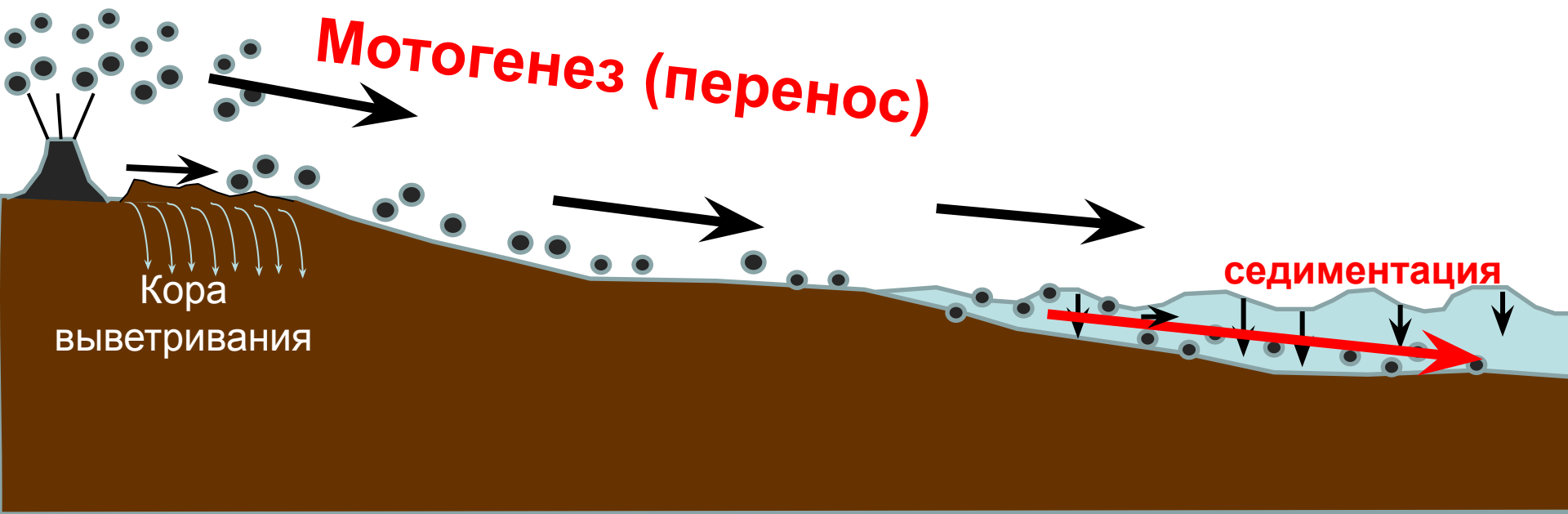


Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, водой, льдом.

Следует иметь в виду:

Перенос часто очень трудно отделить от седиментации.

Например, Н.В. Логвиненко (1984) рассматривает их как единую стадию седиментогенеза (образования осадков).



Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, водой, льдом.

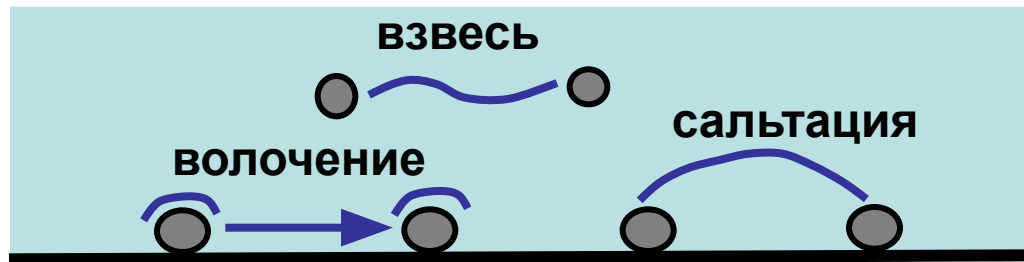
Главные силы переноса (мотогенеза):

1. Сила тяжести;
2. Движение атмосферы, гидросферы и льда;
3. Вулканическая энергия взрывов и автовзвешивания;
4. Жизнь;
5. (Техногенная)

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: **перенос осадочного материала ветром**, под воздействием силы тяжести, водой, льдом.

Перенос в атмосфере осуществляется двумя способами: *волочением* и во *взвешенном* состоянии.

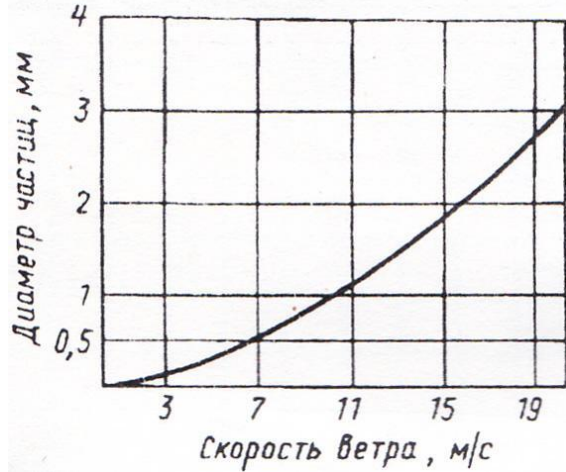
Перенос волочением, т.е. *перекатыванием* и *подпрыгиванием* (*сальтацией*) зерен, осуществляется на открытых от растительности пространствах – на песчаных побережьях и в пустынях на расстояния до десятков и первых сотен метров.



Перенос во взвешенном состоянии, т.е. в виде аэрозоля, осуществляется на значительно большие расстояния – в сотни и тысячи километров и даже вокруг Земли.

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: **перенос осадочного материала ветром**, под воздействием силы тяжести, водой, льдом.

Сильный ветер способен во взвешенном состоянии переносить крупный песок, а во время бурь и ураганов – даже гальки до 5-10 см.



Зависимость размеров частиц, переносимых ветром, от скорости ветра (по П. Фагелу, 1935 из Л.П. Пустовалова, 1940)



Стадия седиментогенеза. Мотогенез: **перенос осадочного материала ветром**, под воздействием силы тяжести, водой, льдом.

Перенос ветром во взвеси формирует **генетический тип навеянных отложений** – эоловые лессы с их горизонтальной слоистостью или слоистостью облекания.

Скорость ветра обычно \min у поверхности Земли, где движение воздуха тормозится рельефом.

Существуют механизмы, поднимающие пыль высоко над Землей:

турбулентные движения воздуха в вертикальной плоскости; смерчи и ураганы; извержения вулканов, поставляющие на высоту до 20 км и выше вулканический пепел.



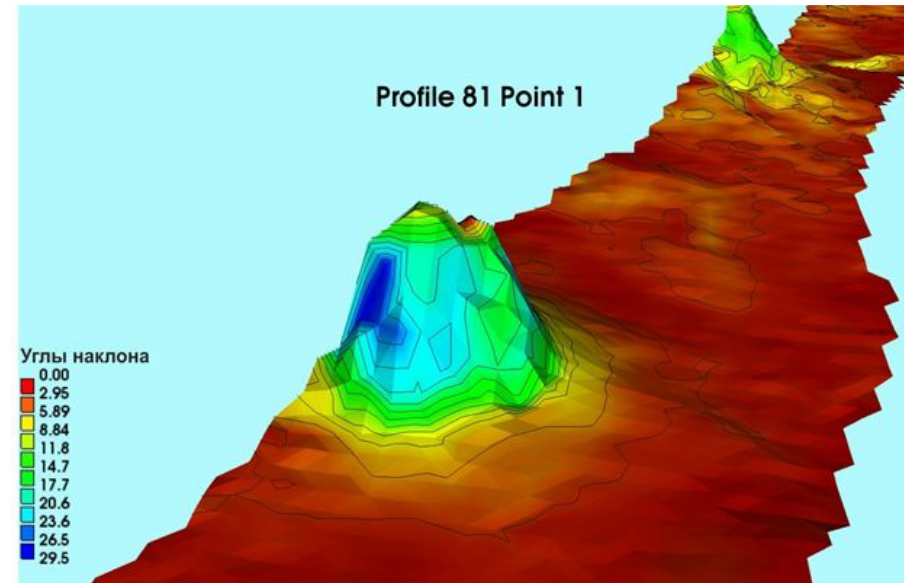
Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, **под воздействием силы тяжести**, водой, льдом.

Перенос под воздействием силы тяжести

(гравитационный) почти в чистом виде осуществляется на склонах, особенно на крутых и вертикальных - **эскарпах**.

Склоновый, или коллювильный, перенос приводит к накоплению особых генетических типов отложений:

- 1) обвальных и осыпных – гравитационных в чистом виде;
- 2) оползневых, солифлюкционных и делювиальных – со значительным участием воды.



Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, **под воздействием силы тяжести**, водой, льдом.

Коллювиальный гравитационный перенос распространён от высочайших вершин материков до глубоких впадин дна океана, ограниченных эскарпами или достаточно крутыми склонами, т.е. **осуществляется повсеместно, где есть склоны.**

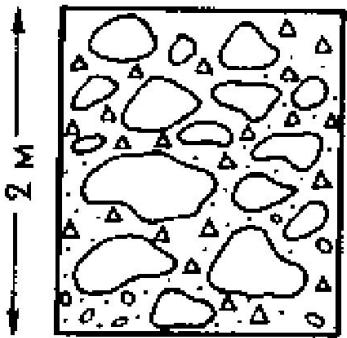


Коллювий, коллювиальные отложения - обломочный материал, накопившийся на склонах или у подножий гор путём перемещения с расположенных выше участков под влиянием силы тяжести (осыпи, обвалы, оползни) и движения оттаивающих, насыщенных водой продуктов выветривания в областях распространения многолетнемерзлых горных пород.

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, **под воздействием силы тяжести**, водой, льдом.

Обвалы (дерупций) – чаще встречаются в горах. Неустойчивость крутых склонов подготовлена выветриванием, а «спусковым крючком» чаще всего становятся землетрясения. Для обвальных образований характерна несортированность слагающего материала.

**Коллювий
гравитационный
в чистом виде**



Схематический
разрез
обвальных
отложений

Диагностические признаки:

1) большие массы несортированного и не стратифицированного материала однородного состава, отвечающего составу местных пород; 2) наличие глыб до десятков метров в диаметре; 3) признаки дробления в твердом состоянии; 4) небольшое количество мелкозема; 5) ограниченность распространения и веерная форма в плане.

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, **под воздействием силы тяжести**, водой, льдом.

Осыпи (десерпций) – формируются на склонах средней крутизны ($40-20^\circ$), процесс их накопления менее катастрофичен.

Веерная форма отдельных осыпных конусов, несортированность, неокатанность, обратная сортировка по размеру (т.к. по инерции движения более крупный материал скатывается дальше мелкого). Мелкозема больше, чем в обвалах.

Коллювий
гравитационный
в чистом виде

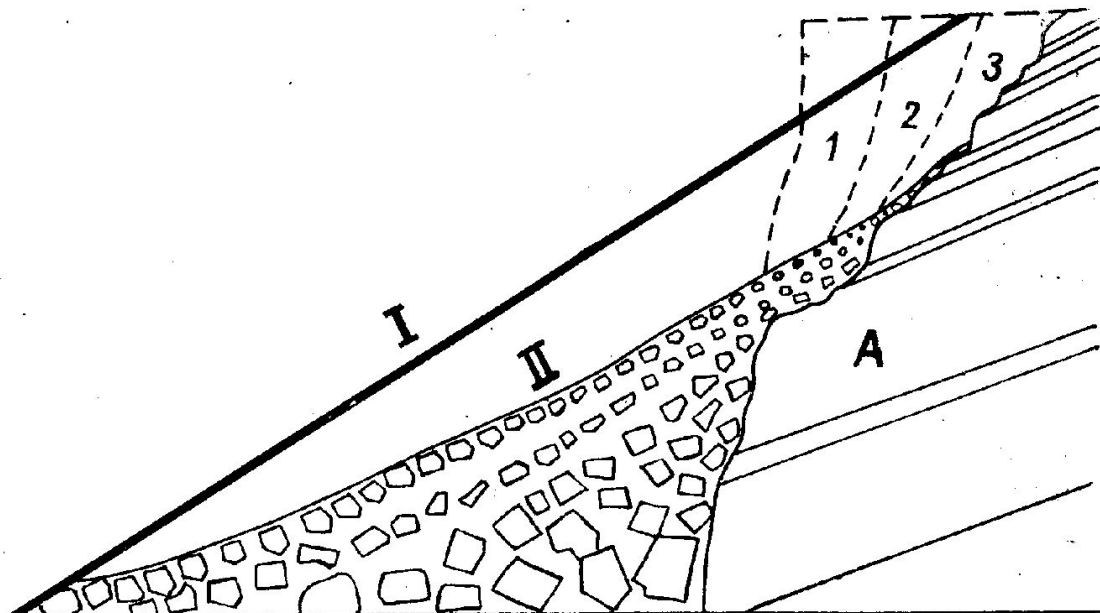


Схема развития осыпного склона (Шанцер, 1966):
А – коренной массив;
1, 2, 3 – последовательные стадии осыпания и накопления осыпи;
I – идеальный и **II** – реальный профили равновесия.

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, **под воздействием силы тяжести**, водой, льдом.

Оползни – распространены еще шире и достигают гигантских масштабов как на суше, так и под водой, где их тела – пласты – называют **олистостромами**, достигающими мощности 100-500 м.

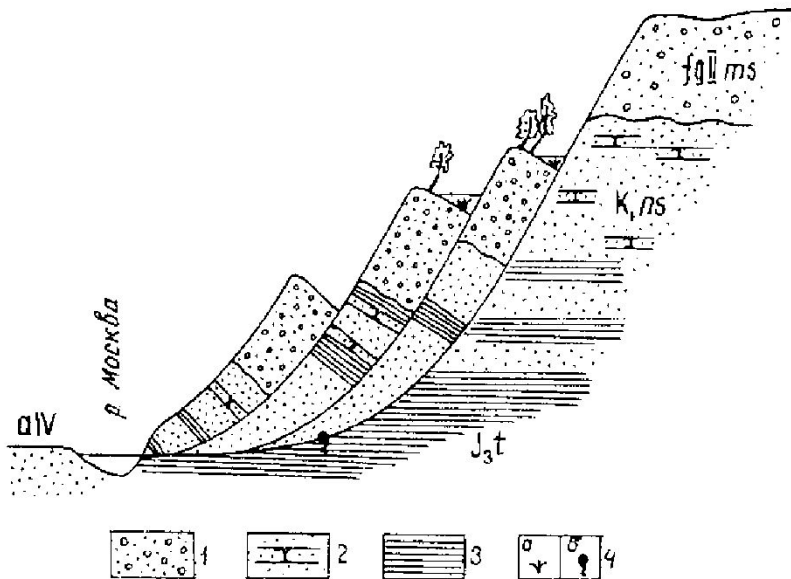


Схема оползневых образований

- 1 - песчано-галечные отложения;
- 2 - пески и песчаники;
- 3 - глины;
- 4 - заболоченность (а);
родники (б)

Коллювий со значительным
участием воды

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, **под воздействием силы тяжести**, водой, льдом.

Солифлюкционные отложения формируются течениями переувлажненного грунта под действием силы тяжести. Формы накопления – террасы размером в первые метры.



Делювий – смыв с некрутых (не круче $20-30^\circ$) склонов мелкими ручейками мелкозема и щебенки, так что создается видимость плоскостного смыва.

Коллювий со значительным
участием воды

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

Перенос русловыми водными потоками

Это основной пути миграции вещества на континентах, перемещающий большую часть осадочного материала, возможно **более 90%**.

Реки (Миссисипи с Миссури, Нил, Амазонка, Лена, Обь с Иртышом, Янцзы, Дунай, Волга т т.д.) переносят материал на расстояния до 5-7 тыс. км.

Формируется три генетических типа отложений:

Пролювий – отложения устьев временных потоков;

Аллювий – речные отложения;

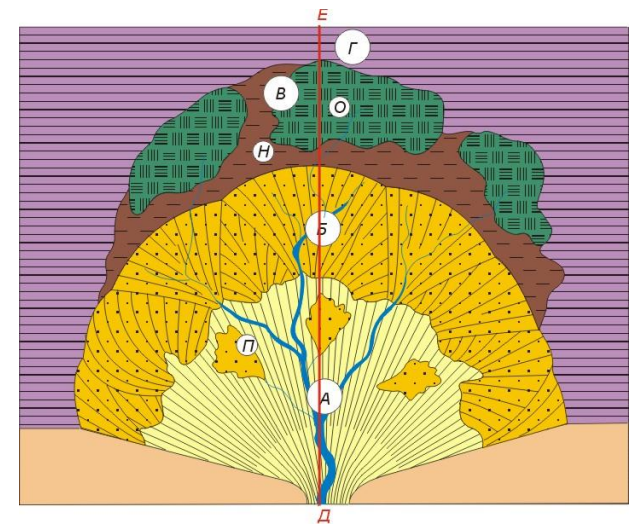
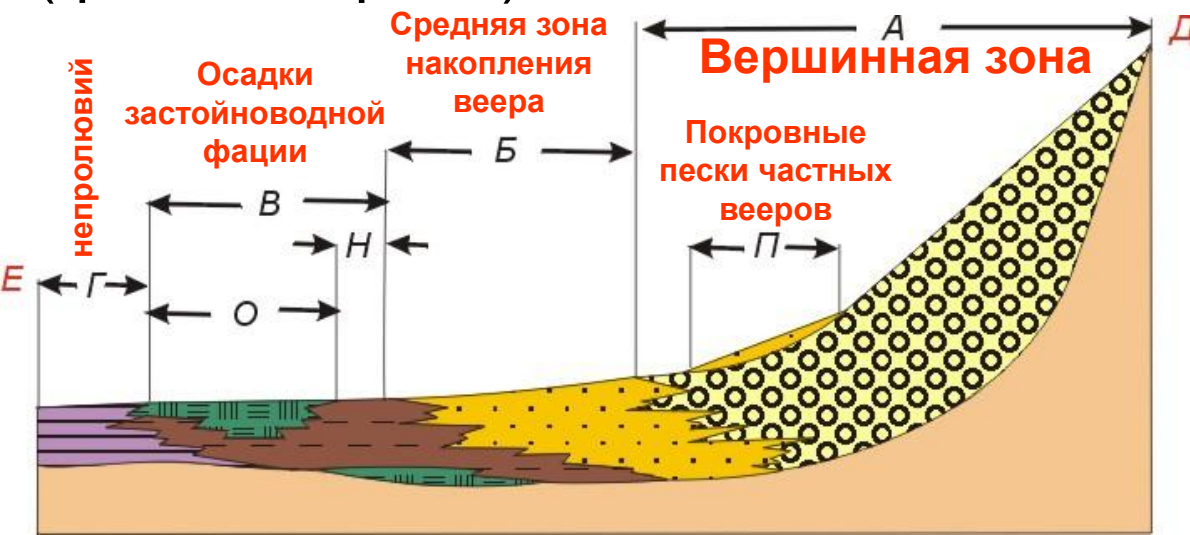
Морской, или бассейновый, аллювий - речные выносы в море – главный генетический тип дельтового комплекса.

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

Перенос русловыми водными потоками

ПРОЛЮВИЙ — рыхлые образования, представляющие собой продукты разрушения горных пород, выносимые временными водными потоками к подножиям возвышенностей.

Слагают конусы выноса и образующиеся от их слияния пролювиальные шлейфы. От вершины конусов к их подножию механический состав обломочного материала изменяется от гальки и щебня с песчано-глинистым цементом (фангломераты) до более тонких и отсортированных осадков.



Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

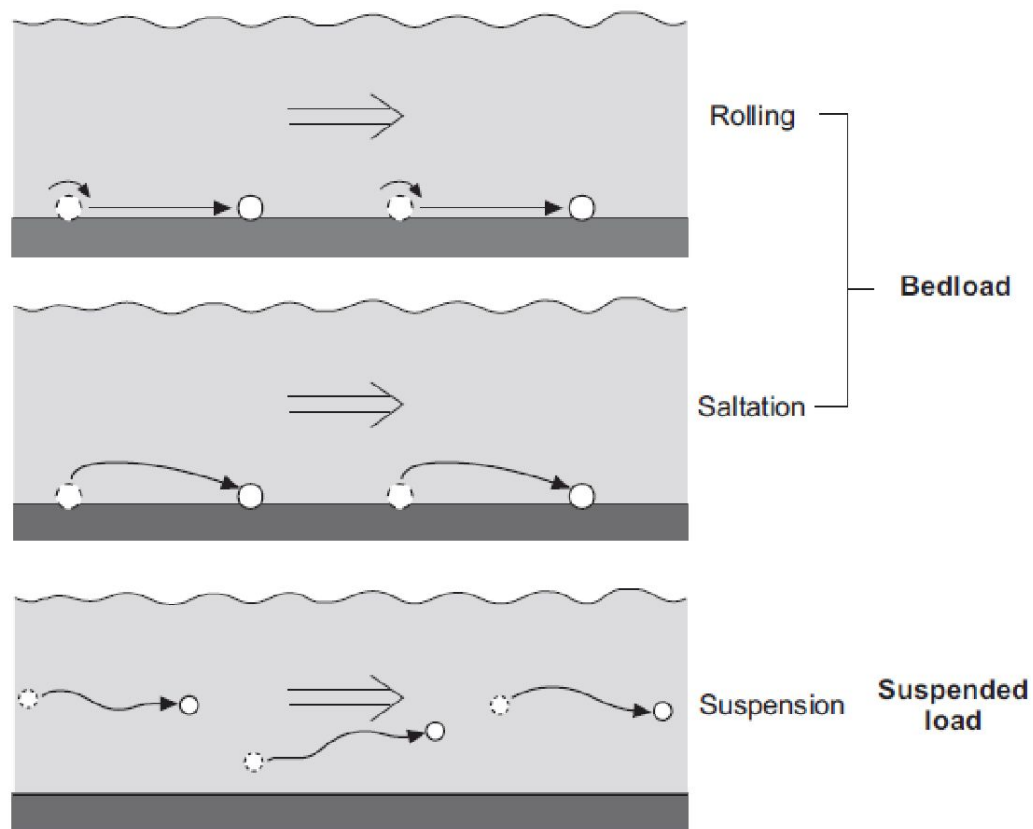
Перенос русловыми водными потоками

Реки переносят материал в трех формах:

Перекачиванием по дну, или *волочением* и *сальтацией*;

Во взвешенном состоянии, - в виде *водной суспензии*;

В растворенном виде – *коллоидными* или *ионными* растворами.



Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

Перенос русловыми водными потоками

Соотношение трех форм переноса материала в реках (по Г.В. Лопатину, 1950):

все реки:

0.35 (перекатывание) : **3.5** (взвесь) : 1 (раствор)

горные реки:

0.86 (перекатывание) : **6.22** (взвесь) : 1 (раствор)

равнинные реки:

0.04 (перекатывание) : 0.53 (взвесь) : **1** (раствор)

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

Пелитовый и **алевритовый** материал (<0.05 мм) переносится практически только **во взвесах**, часто также переносится **тонкий песок** ($0.1 - 0.05$ мм), а в горных реках или в паводки в равнинных реках – и более крупные песок и гравий.

Перенос во **взвесах** выражается **неокатанностью** зерен.

Перенос во взвешенном состоянии облегчается, так как удельный вес частиц в воде уменьшается на 1.

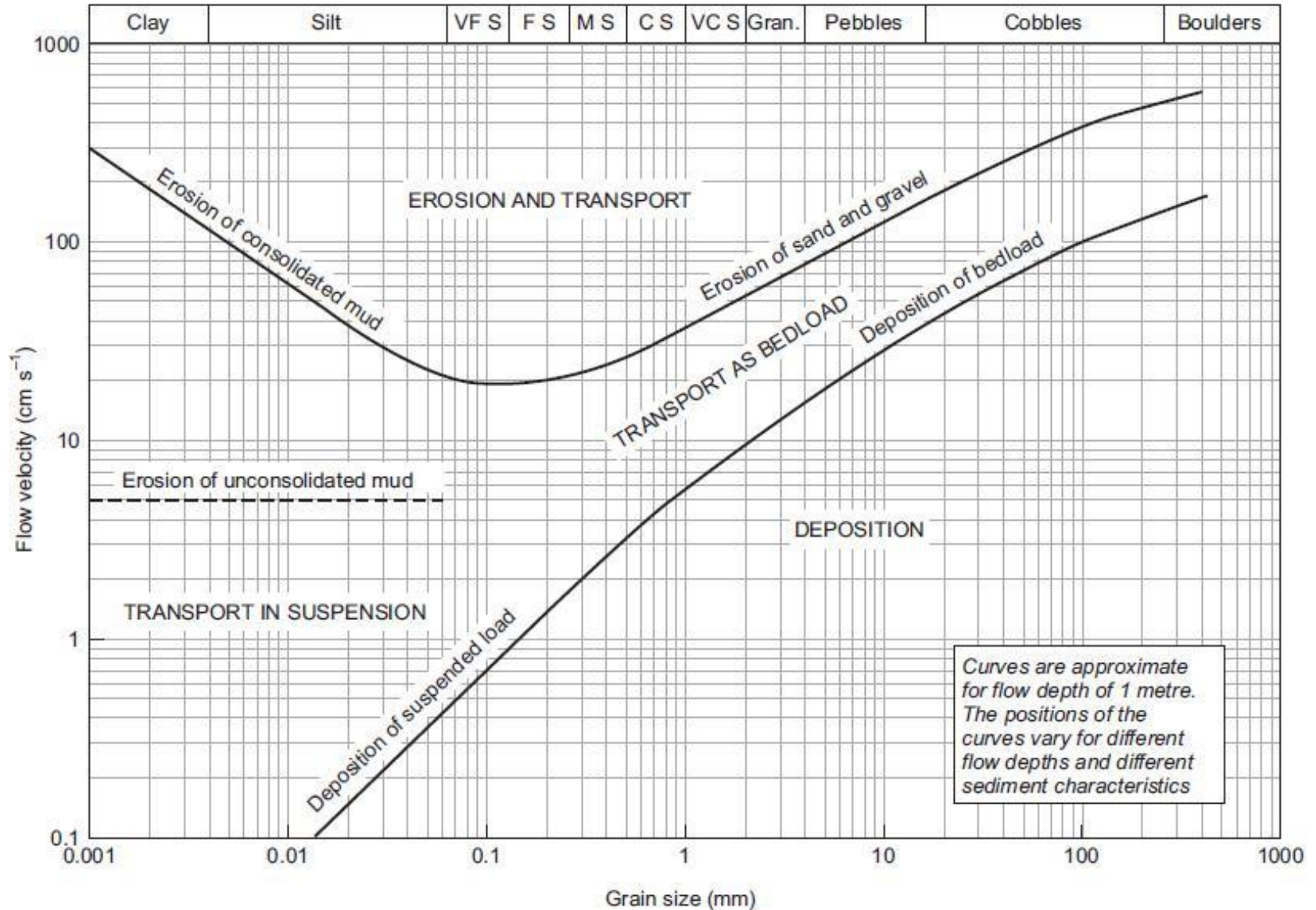
Поэтому взвеси – основная форма переноса осадочного материала реками.

Более крупные частицы (>0.05 мм), руслоформирующие, переносятся также и **волочением**, и **сальтацией**.

Форма переноса зерен определяется их размером и скоростью потока.

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

Диаграмма Хьюльстрема



Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

Растворы, как форма переноса реками осадочного материала, делятся на **коллоидные** и **истинные** (или ионные).

Коллоидные – растворы, в которых растворенное вещество находится в виде тонких дисперсных частиц, имеющих **одинаковый** электрический заряд («+» или «-»), что препятствует их объединению (коагуляции).

Ионы **истинных** растворов – **разнозаряжены**.

В **истинных растворах** размер частиц менее **$1 \cdot 10^{-9}$ м**, их невозможно обнаружить оптическими методами;

В **коллоидных растворах** размер частиц **$1 \cdot 10^{-9}$ м — $5 \cdot 10^{-7}$ м**, их можно обнаружить при помощи ультрамикроскопа.

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

Коллоидные частицы не подчиняются силе тяжести, и для их осаждения требуется снятие заряда, т.е. нейтрализация его каким-либо электролитом, в изобилии содержащимся в соленой морской воде, или другим коллоидом противоположного заряда.

В зоне осадкообразования преобладают отрицательно заряженные коллоиды, а наиболее стабилизирующим (препятствующим коагуляции) веществом, являются *гуминовые и ульминовые коллоиды* и другие органические вещества, способствующие переносу SiO_2 , коллоидов Fe, Al и др.

Стабильности **коллоидов** способствует и реакция воды: слабощелочная – переносу кремневых коллоидов и ионных растворов; слабокислая – окиси Fe и Al.

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

Модуль твердого стока (по Н.М. Страхову) – для оценки механического сноса вещества с 1 км^2 суши:

$$K = T / P,$$

где T – сносимое вещество с площади бассейна P , км^2 .

Умеренный гумидный пояс:

$K < 10 \text{ т/км}^2$, реже $10\text{-}50 \text{ т/км}^2$;

Тропический гумидный:

$K = 100\text{-}240 \text{ т/км}^2$, (до 390 т/км^2 в Китае), а в бассейнах Ганга, Брахмапутры и Инда – 1000 т/км^2 .

Аридные зоны: $K \sim 0 \text{ т/км}^2$

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

Формы переноса реками основных компонентов осадков (по Н.М. Страхову):

- 1) Наиболее растворимые соединения – хлориды и сульфаты K, Na, Ca, Mg. Они переносятся только в виде **ИСТИННЫХ** растворов.
- 2) Карбонаты Ca и Mg и 3) SiO_2 – большая их часть переносится в виде **ИОННЫХ** растворов в аридных зонах и прилегающих частях гумидных зон. Могут переноситься также в виде **ВЗВЕСИ**.
- 4) Соединения Fe, Mn, P, Cu, Zn, Pb, Al, V, Cr, Ni и другие малые и редкие рудные элементы, редкие земли – имеют самые **разнообразные формы** переноса, но преимущественно – **взвесь** и **коллоидные растворы**.

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

5) Минералы глин – переносятся в виде **коллоидов**, но большей частью **во взвешенном состоянии**, а также **волочением** – обломки глинистых пород.

6) Обломочные компоненты, т.е. наиболее **грубодисперсная фаза** – переносятся в основном **волочением** и отчасти **во взвеси** и поэтому обладают наименьшей миграционностью.

Глобальный итог переноса вещества реками: растворенный материал практически нацело, особенно в гумидной зоне, удаляется с континентов в конечные водоемы стока, где создаются условия для его химической и биологической садки.

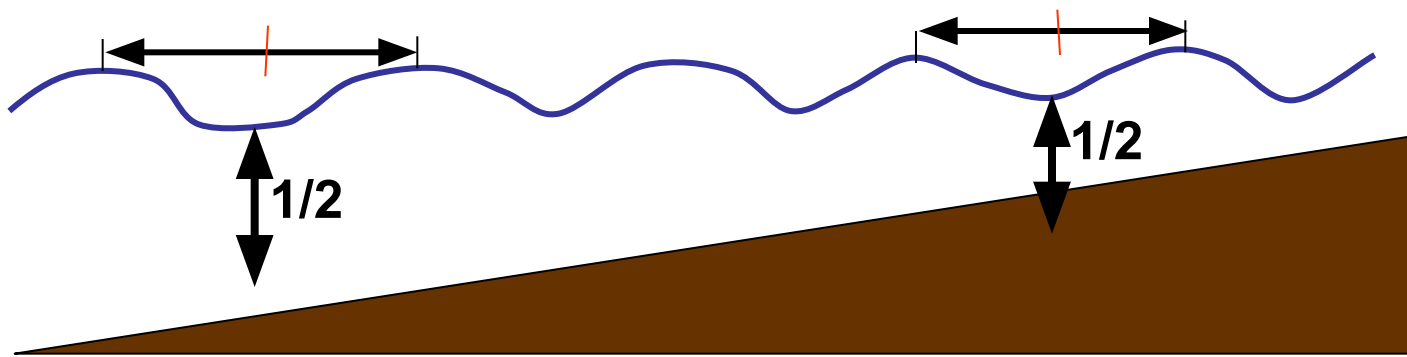
Дифференциация по крупности и удельному весу, по минеральному составу.

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

Перенос в водоемах.

Волнение. Воздействие на дно – половина длины волны.

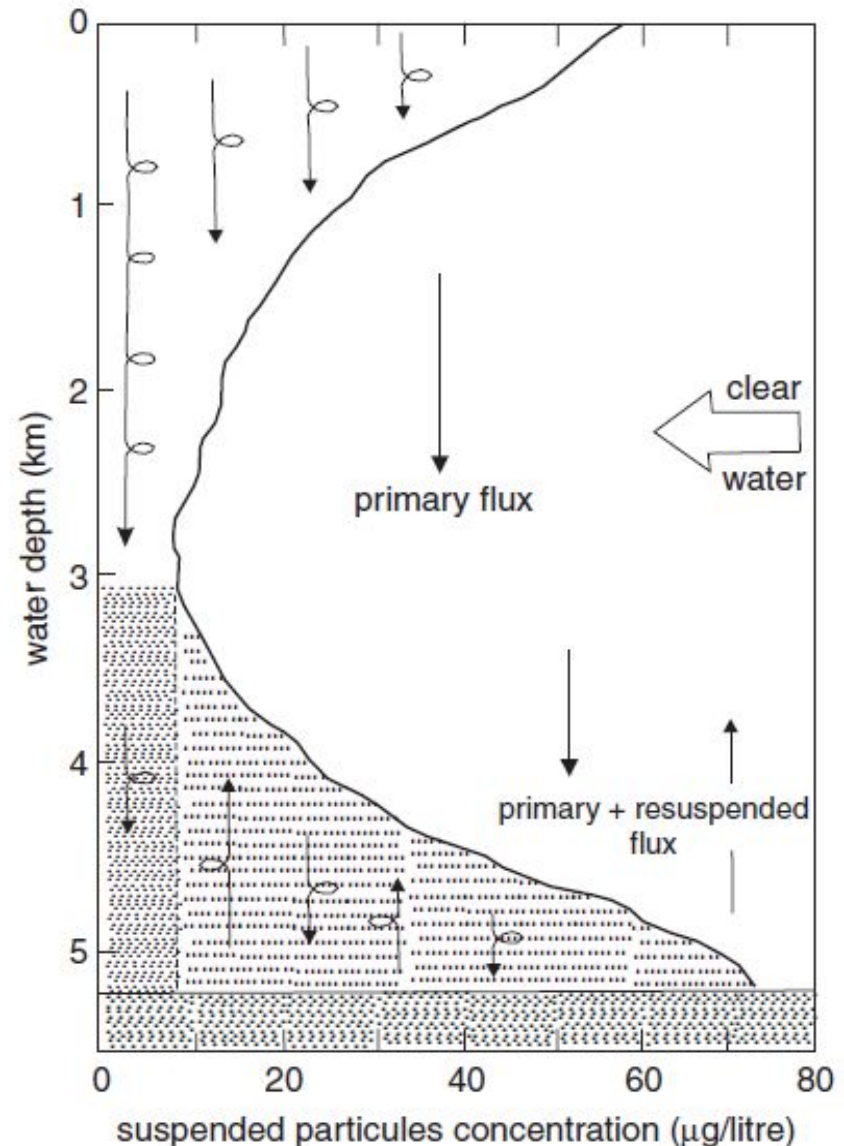
Деформация волн при взаимодействии со дном и последующее взмучивание осадков.



Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

Перенос в водоемах.

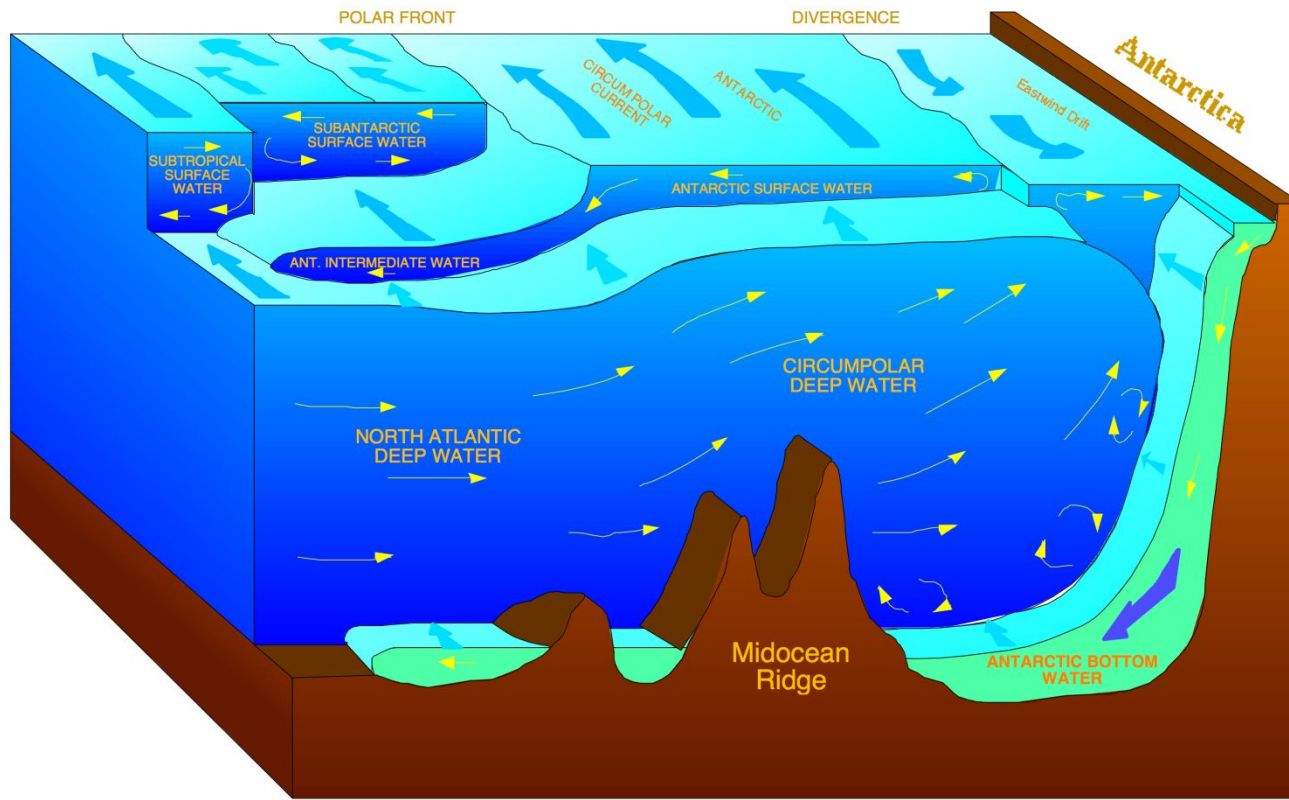
Течения. Большинство из них генерируется ветрами и волнениями. Размер переносимого материала зависит от скорости течения (см. диаграмму Хьюльстрема).



Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

Перенос в водоемах.

Каскадинг. Опускание плотных холодных и поэтому более соленых (замерзание «выжимает» соль из льда) полярных вод и растекание их по дну океанов. Размер переносимых частиц зависит от скорости потока.

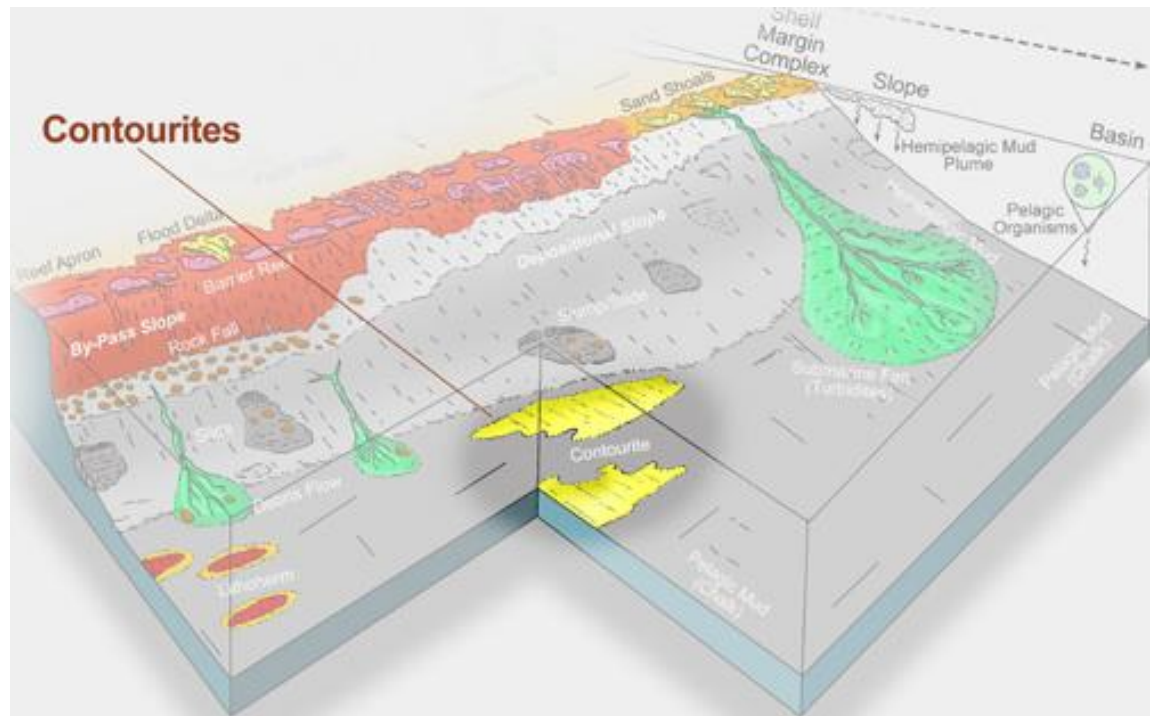


Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

Перенос в водоемах.

Контурные течения. Идут у подножия континентального склона с заметной скоростью (до 20 см/с у Сев. Америки), эродируют дно, сложенное дистальными турбидитами или планктоногенными осадками, переносят и отлагают пелит и алеврит, а в некоторых случаях, например при огибании препятствий, и тонкий песок.

Эти отложения названы **контуритами.**



Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, **водой**, льдом.

Перенос в водоемах.

Вертикальная сезонная циркуляция воды.

Стратификация водной толщи в зимние периоды и ее перемешивание – в летние. В результате – перераспределение взвешенных частиц.

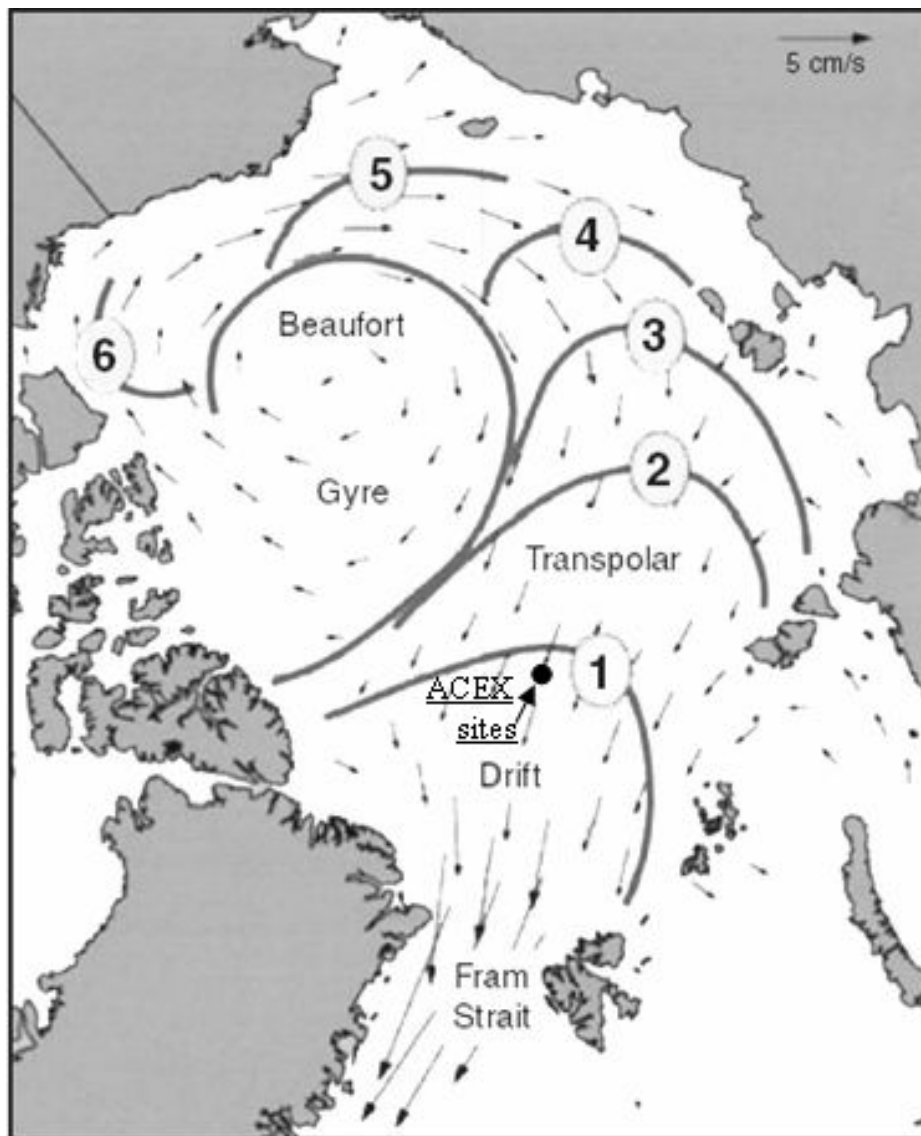
Суспензионные течения (мутьевые, гравитационные). Формирование турбидитов и иных гравититов.

Приливо-отливные течения. Дважды в сутки.

Транспортируют большие массы осадочного материала, особенно в прибрежной зоне шириной до десятков км.

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, водой, **льдом**.

Ледовый/айсберговый разнос



Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, водой, **льдом**.

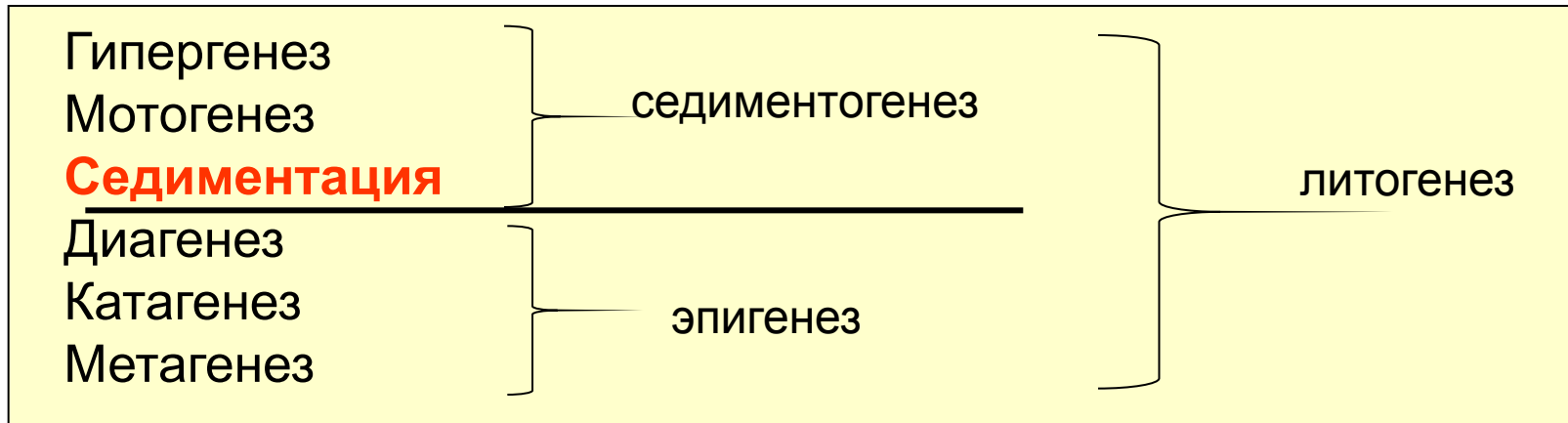


Fig. 10. A large pile of rubble containing boulder-size material resting on an ice floe about 50 km from shore.

Стадия седиментогенеза. Мотогенез: перенос осадочного материала ветром, под воздействием силы тяжести, водой, **льдом**.



Стадия седиментогенеза. Осаждение обломочных частиц в воде.
Осадочная дифференциация вещества.



Седиментация тесно связана с *переносом* и отличается от последнего тем, что ведущей силой становится сила тяжести. При *переносе* преобладало одностороннее давление переносящей среды (или силы) над силой тяжести и инерцией тела.

Закон Стокса

$$V_s = \frac{2 r^2 g (\rho_p - \rho_f)}{9 \mu}$$

V_s – скорость частицы; r – ее радиус, g – ускорение свободного падения; ρ – плотность частицы и жидкости, μ – вязкость

Скорости падения частиц (при 15°C):

1.0 мм	-	100 мм/с
0.5 мм	-	53 мм/с
0.1 мм	-	8 мм/с
0.005 мм	-	0.0385 мм/с
0.001 мм	-	0.00154 мм/с
0.0001 мм	-	0.0000154 мм/с

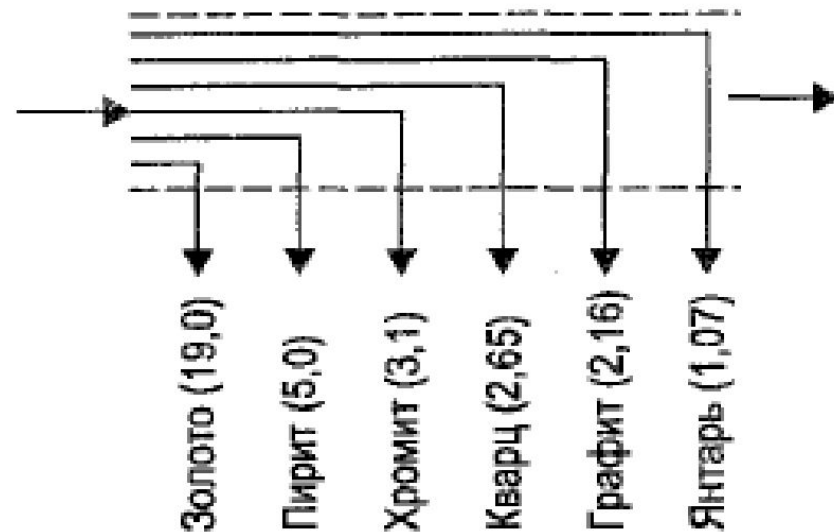
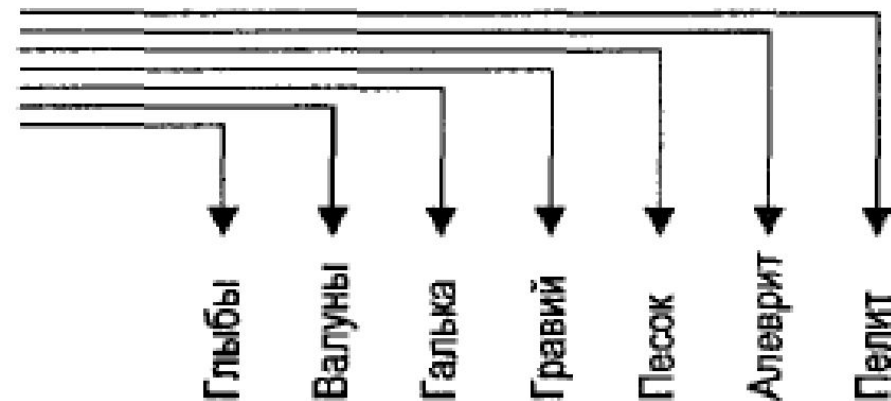
Осадочная дифференциация вещества – это разобшение составных частей изначальных пород, происходящее в зоне осадкообразования (Пустовалов, 1940).

Различаются *механическая* и *химическая* дифференциации.

Осадочная интеграция – объединение, или смешение, вещества из разных источников и разного генезиса в зоне осадкообразования и накопление в той или иной степени смешанных осадков.

Механическая дифференциация: переносимый материал обычно выпадает из путей миграции не сразу, а в последовательности, определяемой:

- 1) Скоростью течения;
- 2) Размером зерен;
- 3) Их формой;
- 4) Удельным весом обломков.



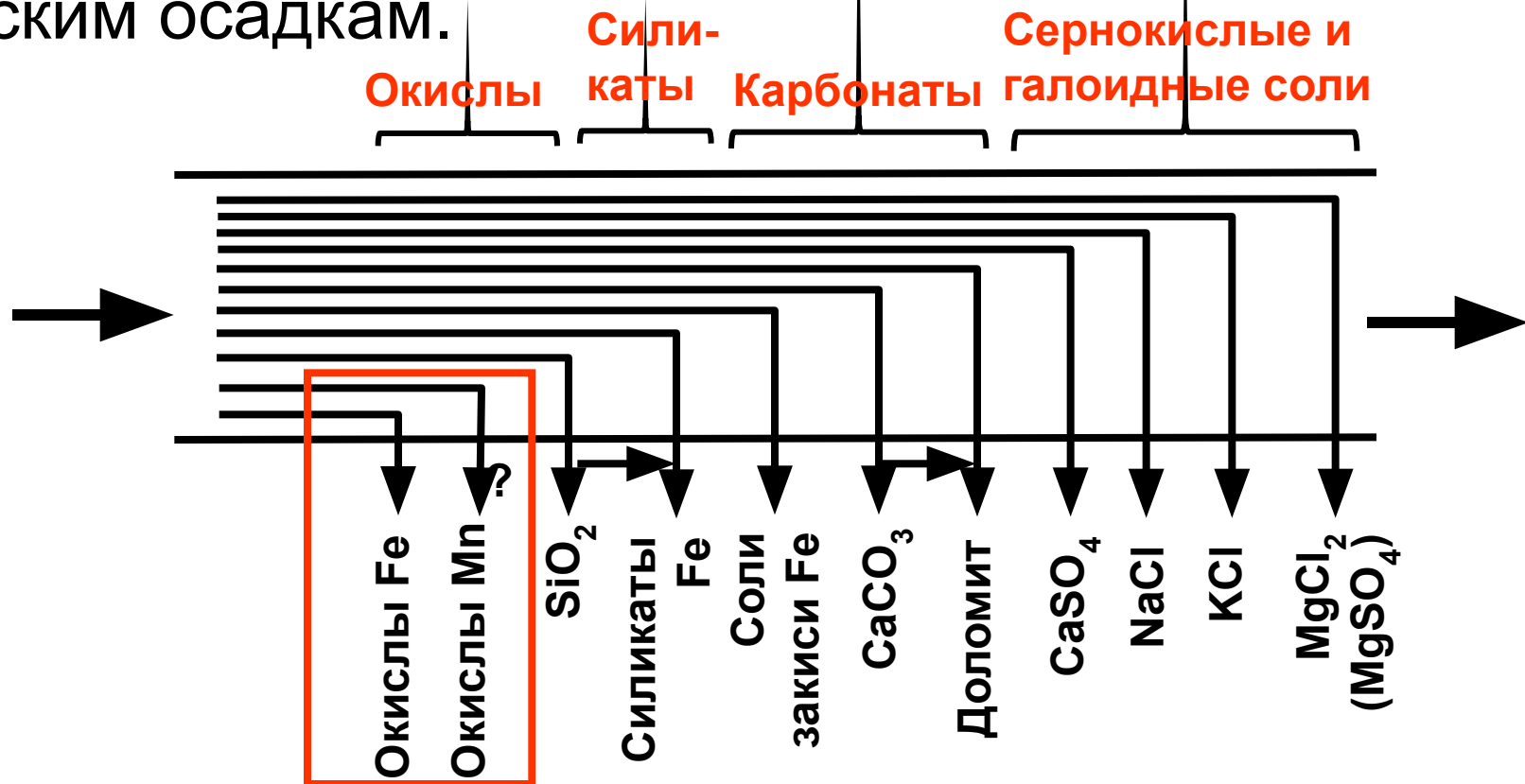
Химическая дифференциация:

разделение в путях миграции веществ по химическому составу и образование более или менее чистых хемогенных осадков.

Л.В. Пустовалов (1940) сводил химическую дифференциацию фактически к последовательному выпадению из путей миграции соединений в порядке возрастания их растворимости, т.е. геохимической подвижности.

Стадия седиментогенеза. **Осадочная дифференциация вещества.**
Осаждение обломочных частиц в воде.

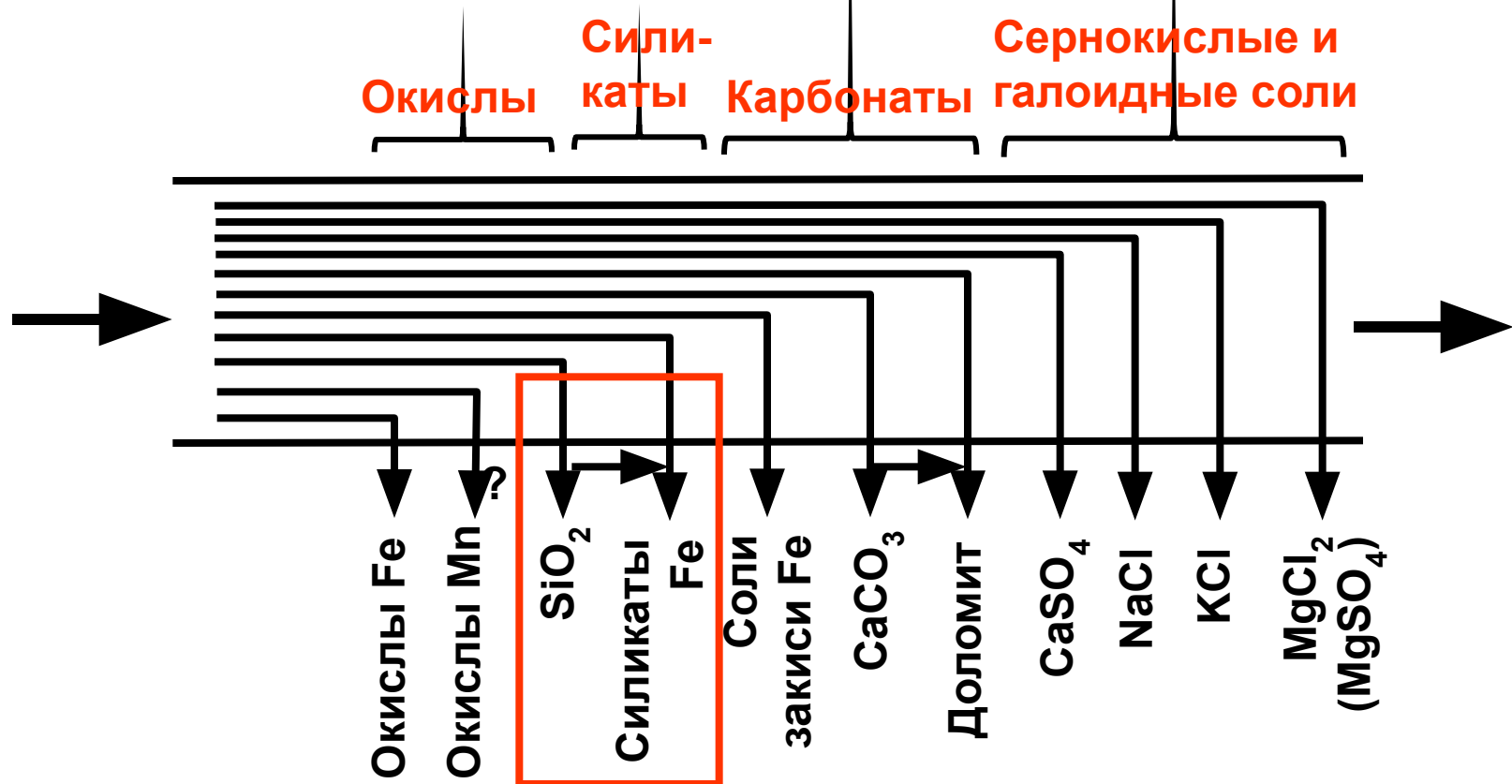
Еще на континенте из путей миграции выпадает основная часть растворенного **Fe**, а более растворимые соединения **Mn** сдвинуты в сторону моря, и их главные месторождения (Никополь, Чиатура, Мангышлак, Вост. Урал и др.) приурочены к прибрежно-морским осадкам.



Стадия седиментогенеза. **Осадочная дифференциация вещества.**
Осаждение обломочных частиц в воде.

Основная масса **кремнезема** выпадает в прибрежной зоне моря, более мористой по сравнению с марганцевой: диатомиты, радиоляриты, спонголиты, трепела, опоки.

Часть кремнезема связывается с соединениями Fe и глиноземом и дает **силикаты Fe** (глауконит, шамозит и др.)

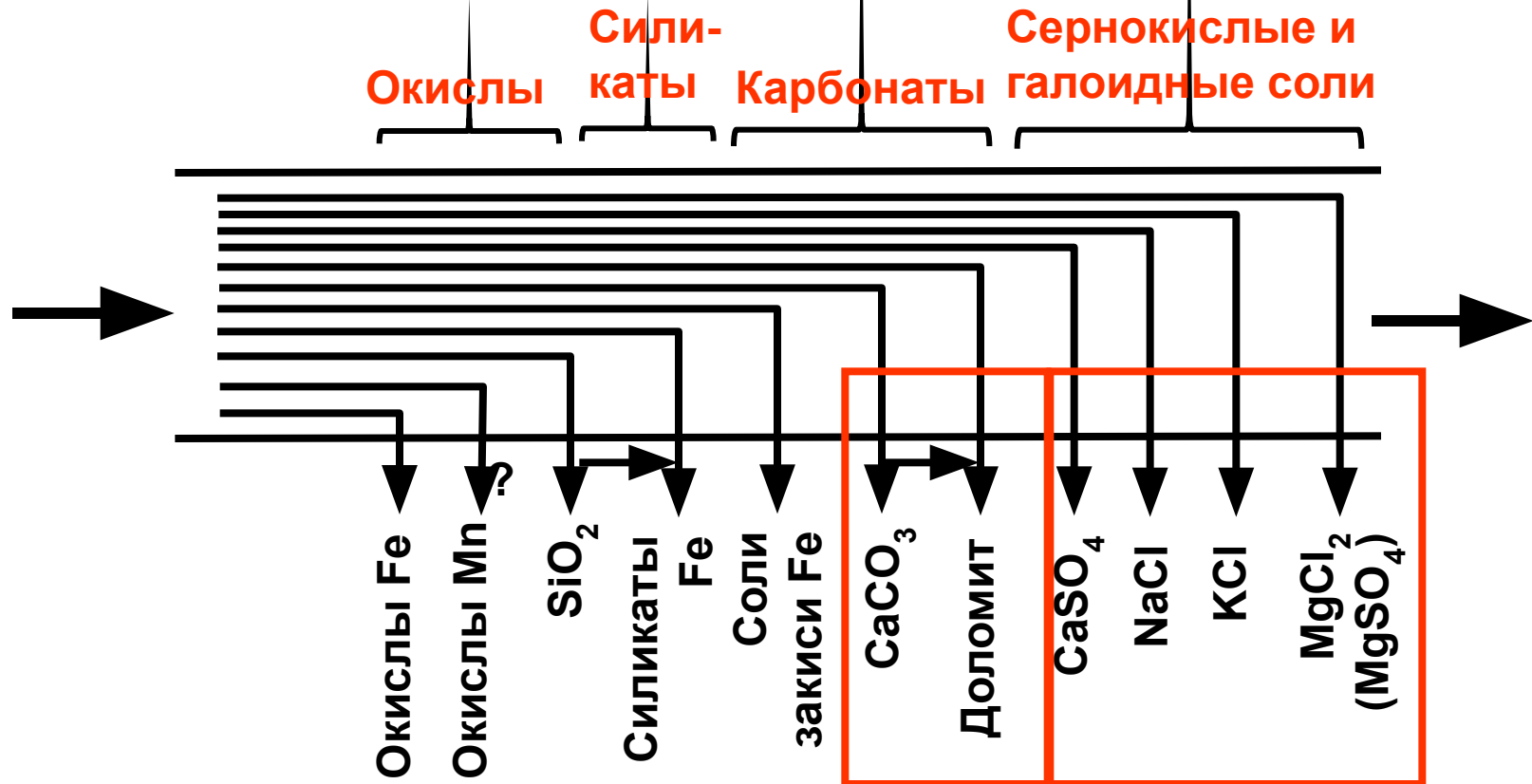


Стадия седиментогенеза. **Осадочная дифференциация вещества.**
Осаждение обломочных частиц в воде.

Позже и дальше от берега выпадает **карбонат Ca**.

Карбонаты Mg более растворимы, поэтому и выпадают после известняков. Доломит в большей степени осаждается при повышенной солености.

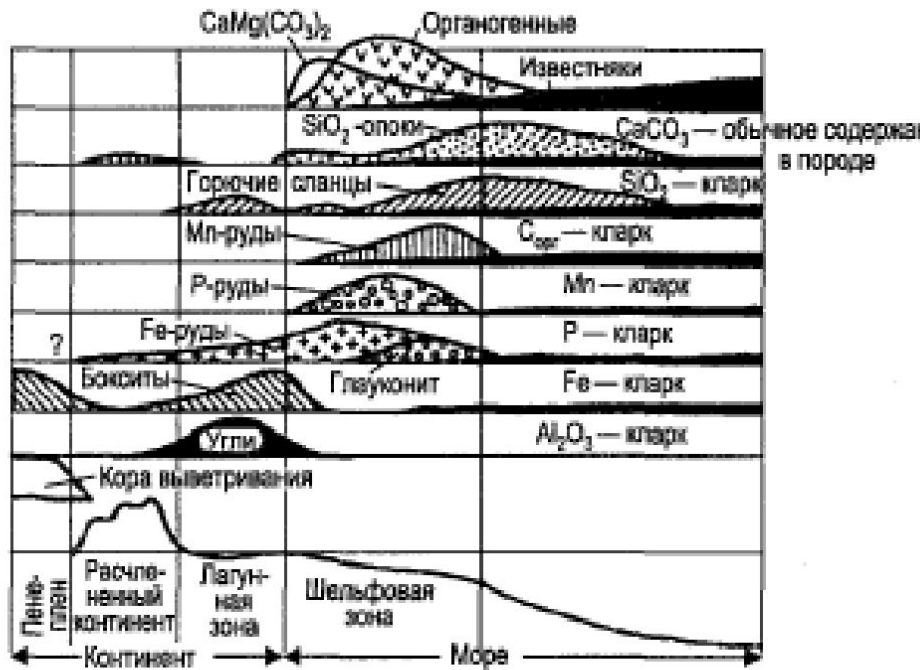
При возрастании солености осаждаются **гипс** или **ангидрит, галит** и т.д.



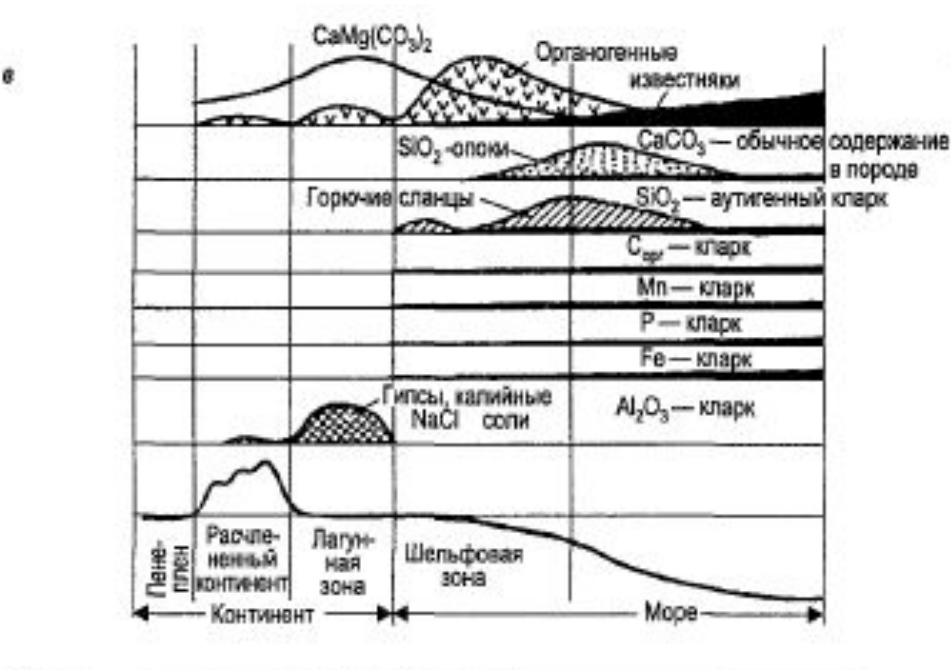
Стадия седиментогенеза. **Осадочная дифференциация вещества.**
 Осаждение обломочных частиц в воде.

Н.М. Страхов предложил отдельные схемы дифференциации для **гумидного** и **аридного** типов литогенеза.

Гумидный



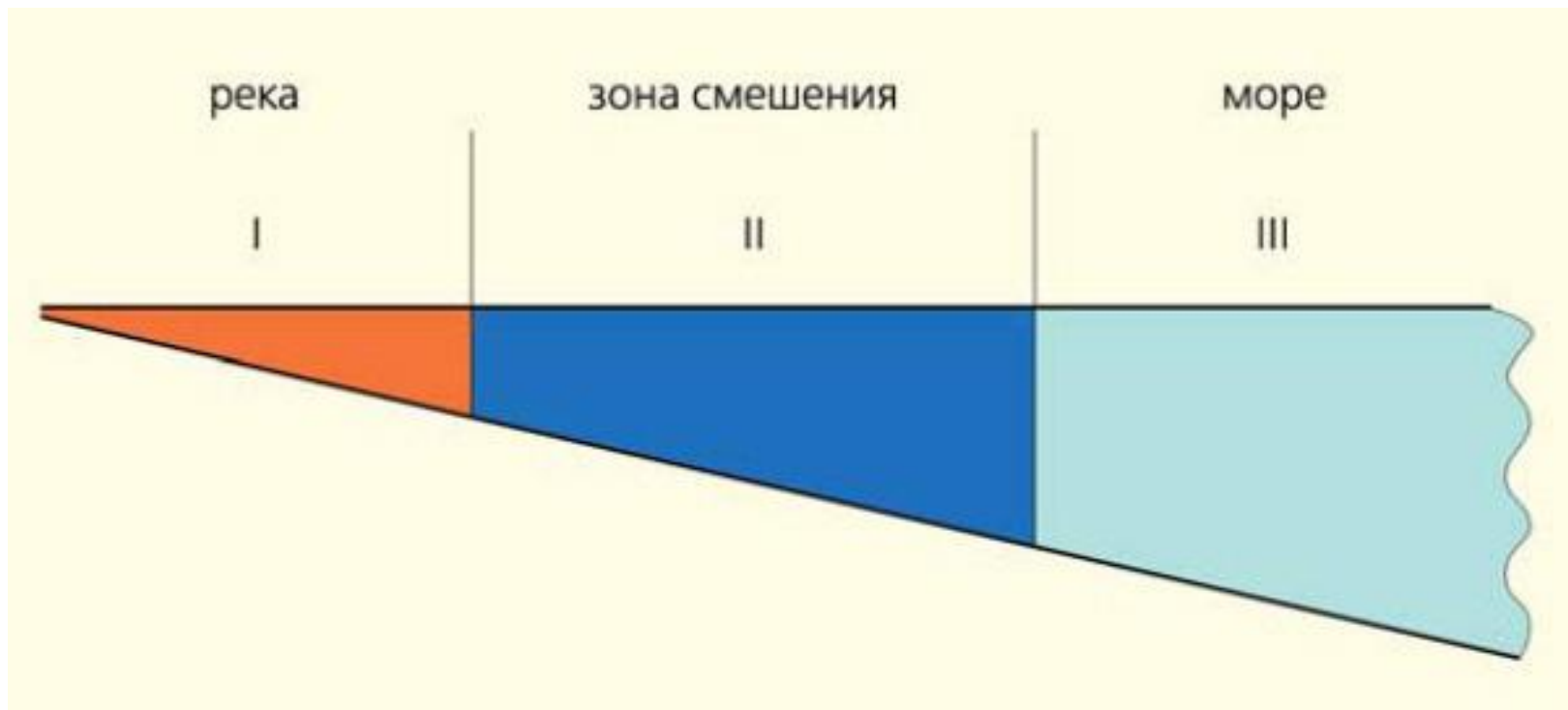
Аридный



- OB (U, Ge)
- Al (Ti, Ga)
- Fe (Co, Ni, Cr, As)
- Mn (Ba, Co)
- P (U, V, P3)
- Si
- CaCO₃
- CaMg(CO₃)₂
- Sr

- Горючие сланцы (U, Ge)
- Cu
- Pb
- Zn
- P (U, V, Ge?, P3)
- SiO₂ (Ge?)
- CaCO₃ (Sr)
- CaMg(CO₃)₂ (B, F)
- CaSO₄
- NaCl
- K-Mg соли (B, Br)
- KCl

Стадия седиментогенеза. Осадочная дифференциация вещества.
Осаждение обломочных частиц в воде.



Принципиальная схема маргинального фильтра.

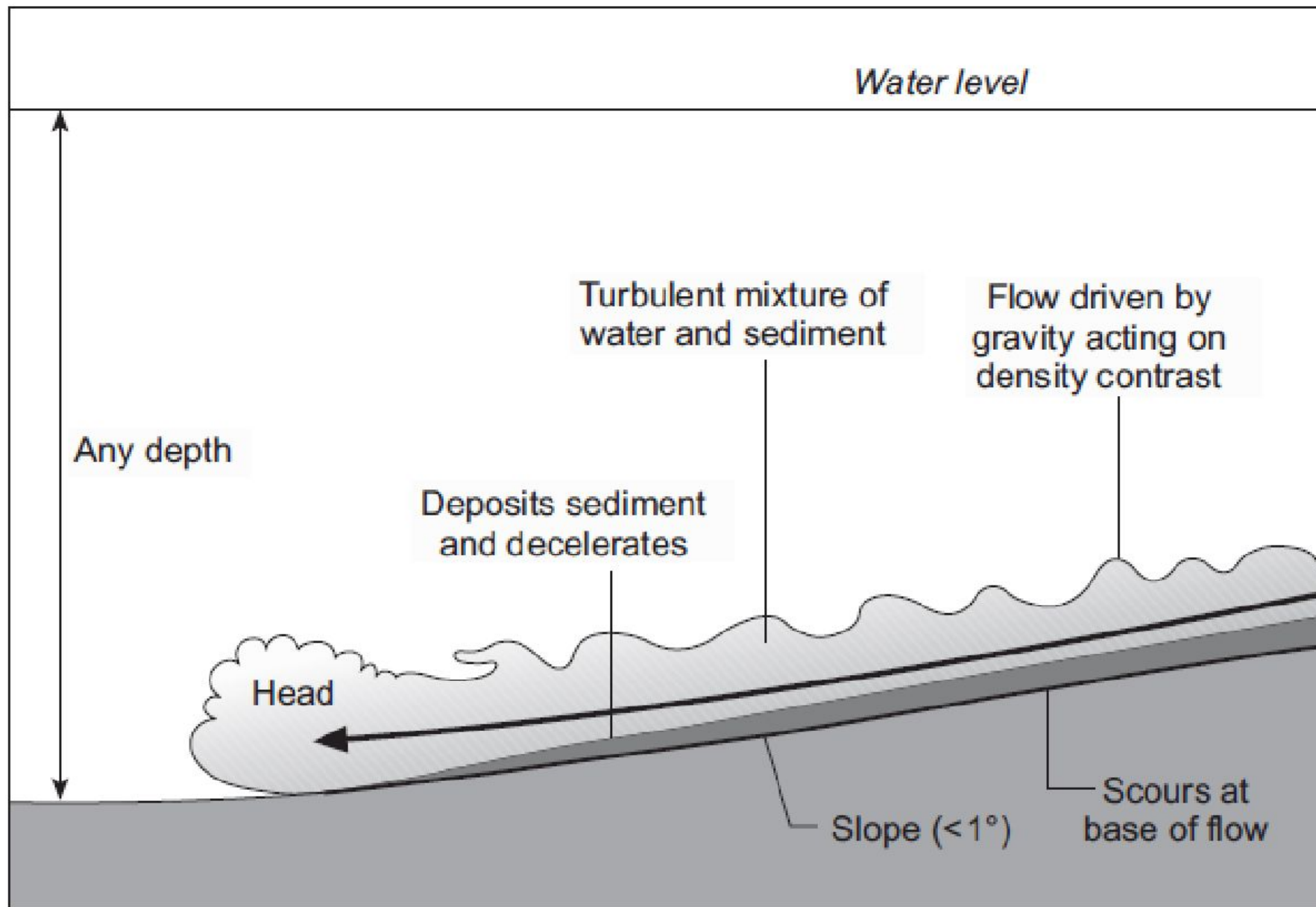
Последовательно выделяются три зоны:

I — гравитационная,

II — физико-химическая (коагуляции и флокуляции),

III — биологическая с просветлением воды.

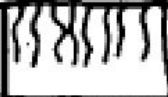







Стадия седиментогенеза. Осадочная дифференциация вещества.
Осаждение обломочных частиц в воде.



Стадия седиментогенеза. Осадочная дифференциация вещества.

Осаждение обломочных частиц в воде.

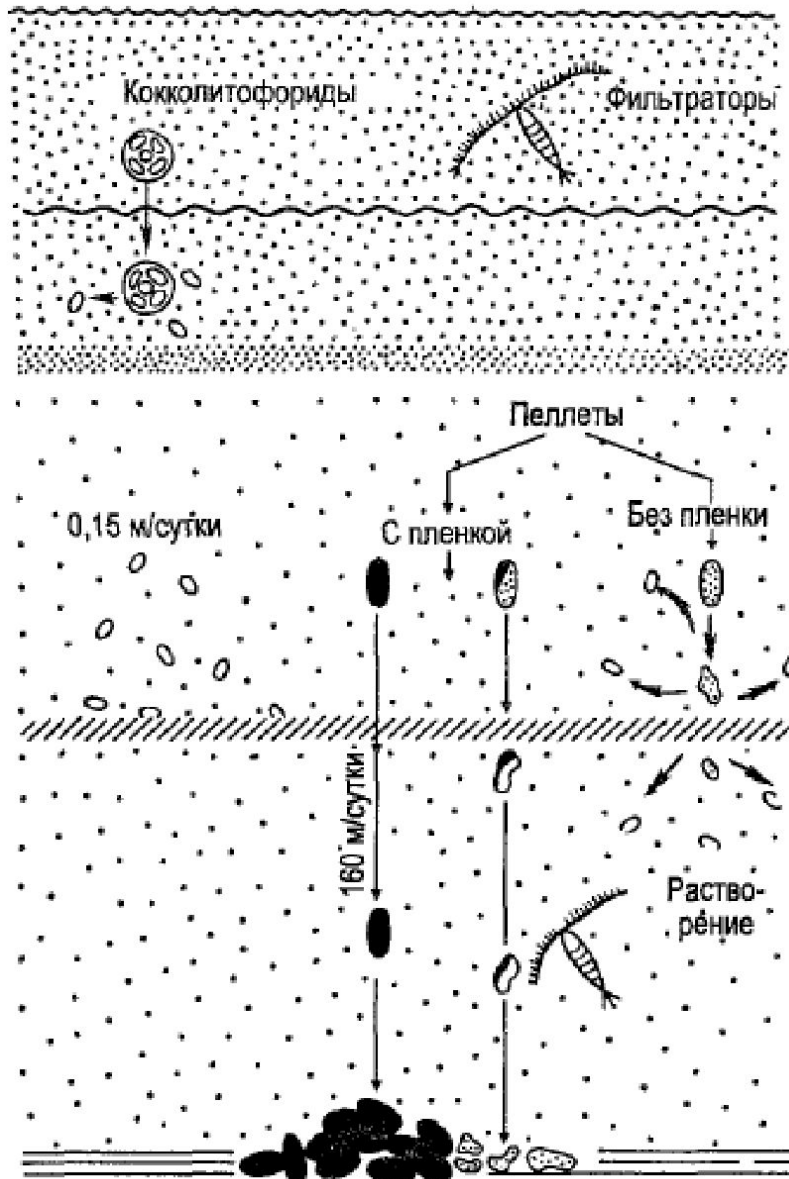
Типовой циклит турбидитов А. Боума

Обозначения по А.Боуме		Размер зерен	Обозначения по Лайперу	Седиментационная структура	Сантиметры — первые метры
E		Ил	f	Пелагические осадки, большей частью биотурбированные	
		Ил	e ₃	С отсутствием градации	
		Ил	e ₂	Градационная	
		Ил	e ₁	Весьма тонкослоистая ламинационная	
D		Ил-алебрит	d	Верхний слой с плоскопараллельной тонкой слоистостью	
C		Алебрит-песок	c	Рябь течения потоков и конволютная слоистость; диагенетические разрывы, вызванные ринней силицификацией	
B		Песок	b	Горизонтальная тонкая слоистость (ламинация) с градационными слоями	
A		Песок	a	Градационная слоистость Черепитчатость Поверхность с подошвенными знаками	

Потоки обломков — дебриз-флоу, зерновые потоки — грейн-флоу, потоки тонкого илистого материала — мад-флоу и др.

Стадия седиментогенеза. Осадочная дифференциация вещества.

Осаждение обломочных частиц в воде.



Частицы < 0.001 мм практически уже не осаждаются, так как броуновское движение почти уравнивает силу тяжести.

Даже теоретически время осаждения настолько велико, что у этих частиц нет никаких шансов пройти, не растворившись, всю толщу воды в 1-5 км и более.

Однако они все же осаждаются, но не порознь, а в агрегированном виде – комками размером 0.01-1 мм и крупнее.

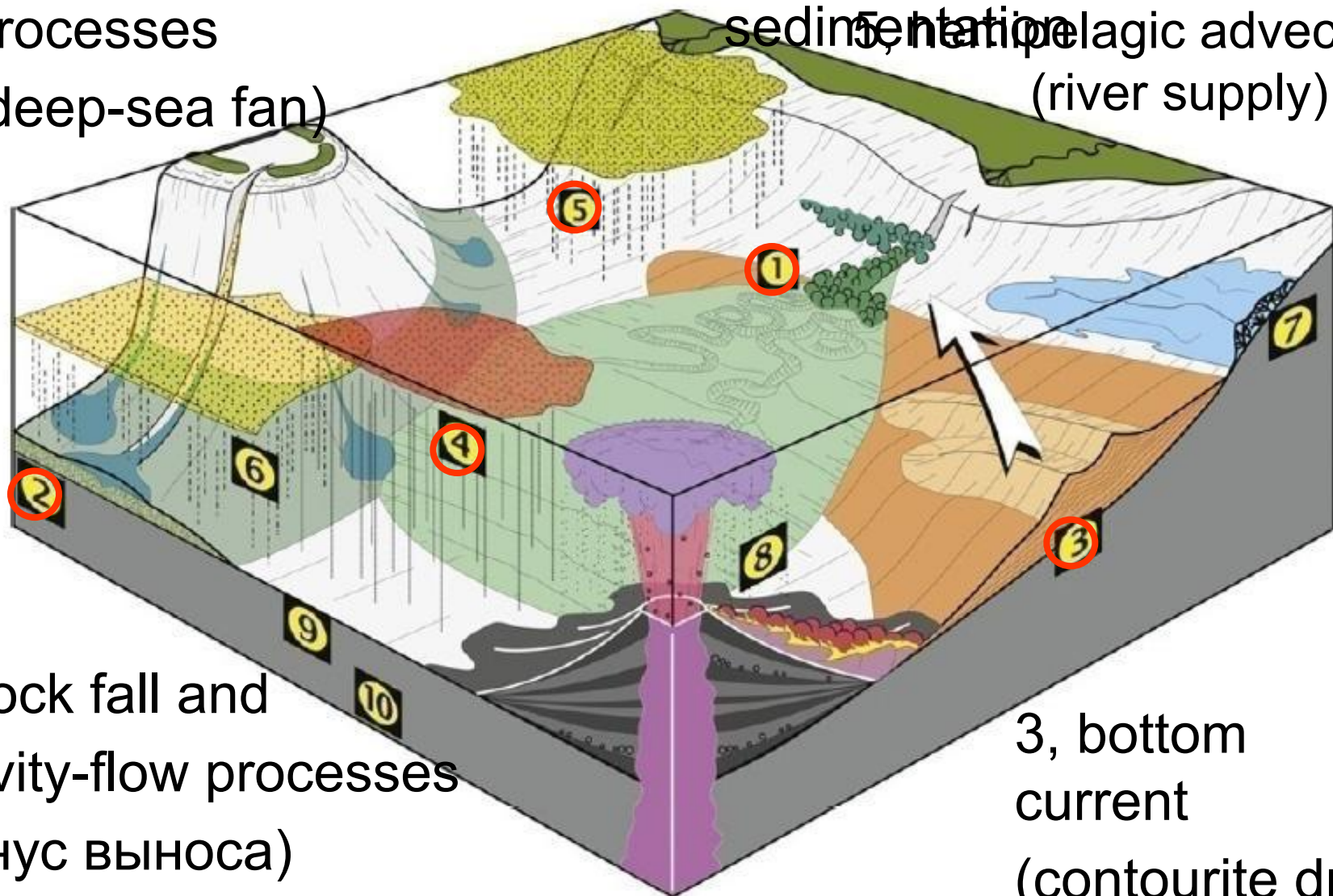
Пеллетный транспорт.

Стадия седиментогенеза. Осадочная дифференциация вещества.

Осаждение обломочных частиц в воде.

1, gravity-flow processes
(deep-sea fan)

4, pelagic sedimentation
5, near-shore pelagic advection
(river supply)



2, rock fall and gravity-flow processes
(конус выноса)

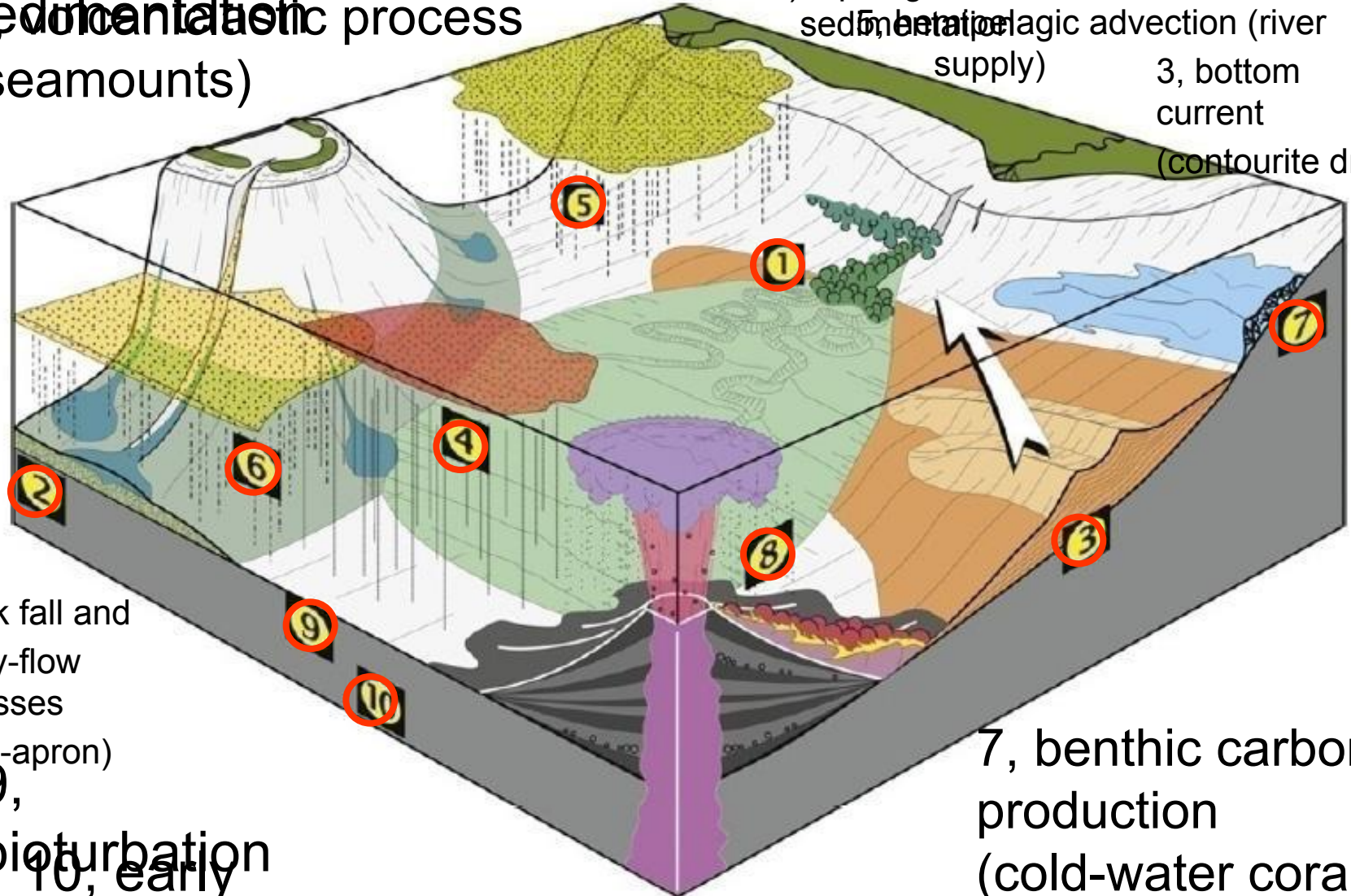
3, bottom current
(contourite drift)

Стадия седиментогенеза. Осадочная дифференциация вещества.

Осаждение обломочных частиц в воде.

6, periplatform sedimentation process (seamounts)

1, gravity-flow processes (deep-sea fan)
4, pelagic sedimentation
5, pelagic advection (river supply)
3, bottom current (contourite drift)



2, rock fall and gravity-flow processes (slope-apron)

9, bioturbation
10, early diagenesis

7, benthic carbonate production (cold-water coral)

Стадия седиментогенеза. Осадочная дифференциация вещества.
Осаждение обломочных частиц в воде.

