

Литология

СОЛЯНЫЕ ПОРОДЫ



Общая характеристика соляных пород

Определение

Соляными породами (кратко — солями, или *эвапоритами*) именуют образования, состоящие преимущественно из легко- или заметно растворимых в воде минералов.

Минеральный состав

Хлориды:

галит, или поваренная соль NaCl ,

сильвин, или калийная соль KCl ,

бишофит $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$,

карналлит $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$);

Минеральный состав

сульфаты:

ангидрит CaSO_4 ,

гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,

мирабилит, или глауберова соль

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$,

кизерит $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$,

эпсомит $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,

лангбейнит $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$,

полигалит $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,

астраханит $\text{NaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и др.);

Минеральный состав

двойные смешанные соли:

каинит $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и др.;

Минеральный состав

легкорастворимые карбонаты:

сода — десятиводная $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
и семиводная $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,
гейлюссит $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$);

Минеральный состав

нитраты:

селитра натриевая, или чилийская NaNO_3 ,
селитра калиевая KNO_3 ;

Минеральный состав

бораты:

борацит $\text{Mg}_3\text{SiB}_7\text{O}_{13}$,

гидроборацит $\text{MgCaB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$,

бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и др;

Минеральный состав

и *фториды*:

флюорит CaF_2 .

Фториды нерастворимы.

Минеральный состав

У большинства пород названия одинаковы с господствующими минеральными видами: гипсы, ангидриты, мирабилиты, карналлитовые породы, каинитовые породы, полигалитовые породы, лангбейнитовые породы и др., а также сильвиниты, сложенные сильвином с примесью галита и некоторых калиевых сульфатов, и каменная соль – галитовая.

Все они представляют собой *ценные полезные ископаемые*.

Они важны как геологический документ, по которому устанавливается *аридный тип литогенеза*.

Они генетически однотипны: только *хемогенное осаднение* (биогенная только чилийская селитра – гуано).

Большинство солей образуются в наземных водоемах за счет повышения концентрации до перенасыщения и выпадения осадков вследствие полного или частичного выпаривания растворов.

Отсюда и возникло название «*эвапориты*».

Термин «*соляные породы*» является собирательным и не совсем строгим.

Структуры

В большинстве случаев соли образуют идиоморфнозернистые крупнокристаллические агрегаты с **гранобластовыми** структурами;

у ангидритов и гипсов-селенитов с могут быть **нематобластовые** структуры, от греч. *nematos* — игла.

Реже встречаются микрогранобластовые, микронематобластовые и колломорфные структуры.



Текстуры

В основном горизонтально-слоистые, с ритмично чередующимися слоями соли, чистой и загрязненной глинисто-карбонатными примесями – сезонная слоистость (варвы).

Они нередко осложняются подводно-оползневыми складками, диапировыми складками или складками, вызванными вторичным обводнением и изменением объемов пород при катагенезе.



Петротипы эвапоритов

(по В.Т. Фролову, 1992)

Сульфатные породы

Главными сульфатными породами являются *ангидриты, гипсы, мирабилиты, глаубериты* и др., а также смешанные полисульфатные.

Более редки *баритовые и целестиновые* породы.

Гипсы, или гипсолиты

Широко распространены.

Мощность пластов – от десятков метров до сантиметров и миллиметров, обычны конкреции, гнезда и жилы.

Цвет белый, светло-серый, голубоватый, розовый и красный.



Гипсы, или гипсолиты

Структура от гиганто- до микрокристаллической, гипидиоморфная, гипидиогранобластовая и гранобластовая, переходящая в фибробластовую, часто порфирогранобластовая.



Гипсы, или гипсолиты

Текстура: тонкая и грубая слоистость, нередко сезонная, с прямой и обратной градационностью, иногда косая и волнистая (в гипсовых дюнах).



Гипсы, или гипсолиты

Гипсы часто переслаиваются с доломитом и ангидритом.

Гипс образует и сростки кристаллов в виде «гипсовых роз».



Гипсы, или гипсолиты

В шлифе гипс узнается

по отсутствию рельефа (немного меньше
бальзама) $N_g=1,5305$; $N_m=1,5228$;

$N_p=1,5208$,

белым, как у кварца, цветам интерференции,
($N_g—N_p=0,0097$),

крупным размерам кристаллов с
совершенной спайностью,

косому погасанию,

двуосности (+).

Ангидриты, или ангидритолиты

тесно связаны с гипсами взаимными превращениями.

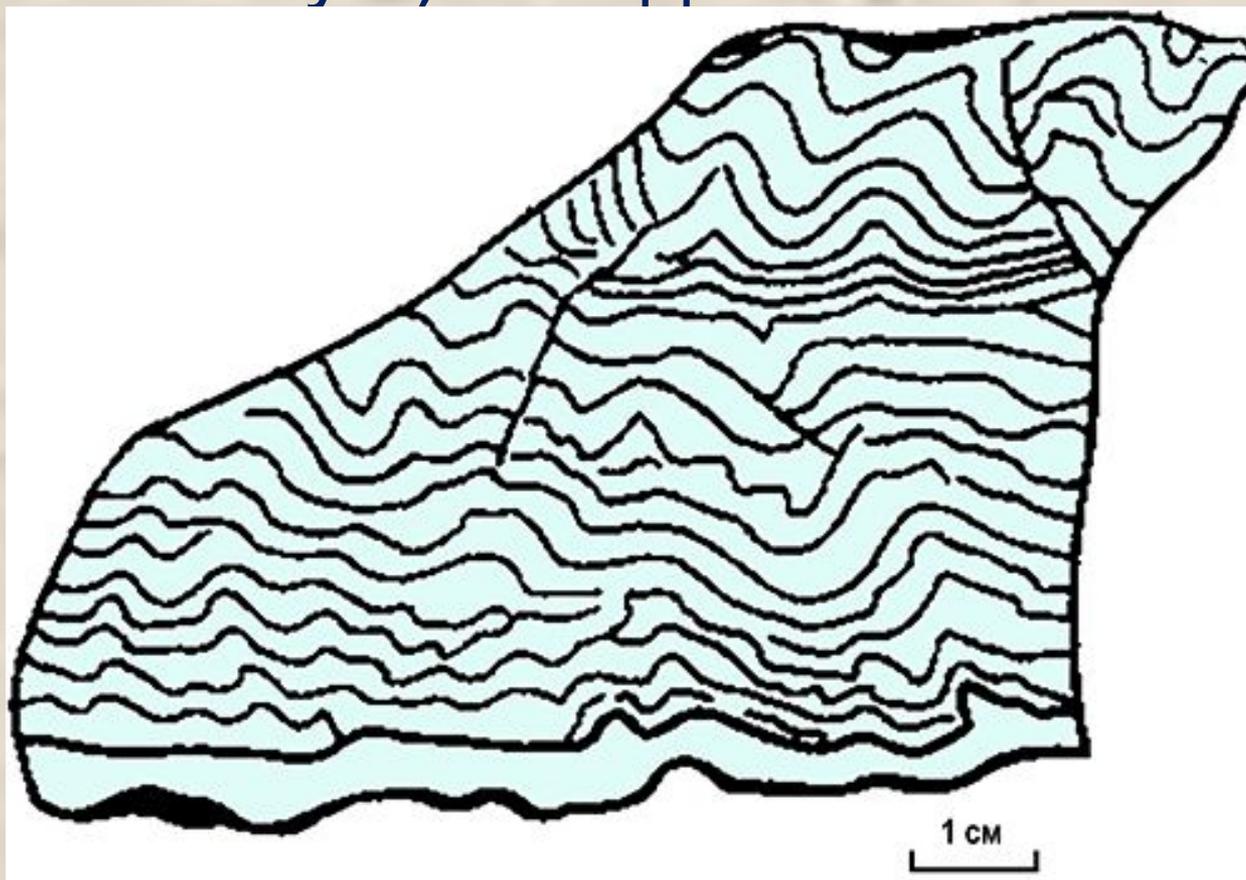
Они имеют те же формы залегания — пласты, линзы, гнезда, жилы, конкреции.

По цвету, структурам и текстурам также подобны гипсам.

Ангидриты, или ангидритолиты

При гидратации переходят в гипсы с увеличением объема на 30—50%.

Это вызывает *энтеролитовую* (внутрипластовую) складчатость.



Ангидриты, или ангидритолиты

С глубины 100—200 м гипсы переходят в ангидриты.

Взаимодействие гипса и ангидрита с битумами часто приводит к образованию месторождений самородной серы.

Ангидриты, или ангидритолиты

В шлифе ангидриты чаще всего имеют лепидогранобластовую структуру и могут быть приняты за мусковитовые породы из-за своего высокого двупреломления ($N_g - N_p = 0,044$), ярких пестрых цветов интерференции и слюдоподобного габитуса кристаллов.

Показатели преломления $N_g = 1,614$;
 $N_m = 1,576$; $N_p = 1,570$.

Погасание прямое, кристаллы призматические с совершенной спайностью по призме.

Бариты, или баритолиты

отличаются большим удельным весом (4,3—4,7).

Цвет белый (кристаллы — бесцветные), серый, от примесей гидроокисей железа желтый и бурый, а от битумов — темно-серый и черный.

Бариты, или баритолиты

Структуры от гиганто- (размер кристаллов до 5 см) до мелкозернистых, обычные сферолиты.



Бариты, или баритолиты

В шлифе бесцветен.

$$N_d = 1,643—1,649, \quad N_m = 1,635—1,638, \\ N_p = 1,630—1,636, \quad N_d - N_p = 0,012$$

Обычно встречается в виде конкреций, достигающих размера 5—10 м, часто сферолитового строения,

а также в виде жил и цемента песчаников.

Содержание в песчаниках может достигать 12,6—33,8%.

Изменяется в церуссит, сидерит, кальцит и др.

Бариты, или баритолиты



Конкреции барита из песчаников. Верхний мел, Хатангский залив, п-ов Хара-Тумус

Целестины, или целестинолиты

В шлифе сходен с баритом.

Структуры от гиганто- (размер кристаллов до 5 см) до мелкозернистых, обычные сферолиты.

Цвет – голубоватый, реже красноватый и бесцветный.

Образуют изоморфный ряд минералов целестин—барит.

Образуют конкреции, жеоды, жилы среди известняков, доломитов, сульфатов кальция, каменной соли.

Целестины, или целестинолиты

Структура волокнистая, игольчатая и призматически-зернистая.

В шлифе от ангидрита и барита целестин отличается низким двупреломлением (0,009) и несколько более высоким светопреломлением.



Целестины, или целестинолиты

Структура волокнистая, игольчатая и призматически-зернистая.

В шлифе от ангидрита и барита целестин отличается низким двупреломлением (0,009) и несколько более высоким светопреломлением.

Хорошо растворимые в воде сульфаты

тенардиты, мирабилиты, кизериты, эпсомиты, астраханиты, глазериты, лангбейниты, полигалиты и др., а также смешанные хлоридно-сульфатные породы — каиниты, образуют моно- или полиминеральные слои, часто в смеси с галитом, карналлитом и др.

Хорошо растворимые в воде сульфаты

Структуры яснокристаллические, гипидиоморфнозернистые и гипидиогранобластовые.

Текстуры каркасные, пятнистые, массивные, брекчиевые, желваковые, вкрапленные, жильные, волокнистые, сферолитовые и др.

Цвет от бесцветного и белого до серого, желтого, красного, голубоватого, зеленоватого, однородного и пятнистого.

Хлоридолиты

Каменная соль, или галитолит

образует мощные (от сотен метров до 1—2 км) толщи однородной породы.

Содержание NaCl в наиболее чистых породах достигает 99% и более.

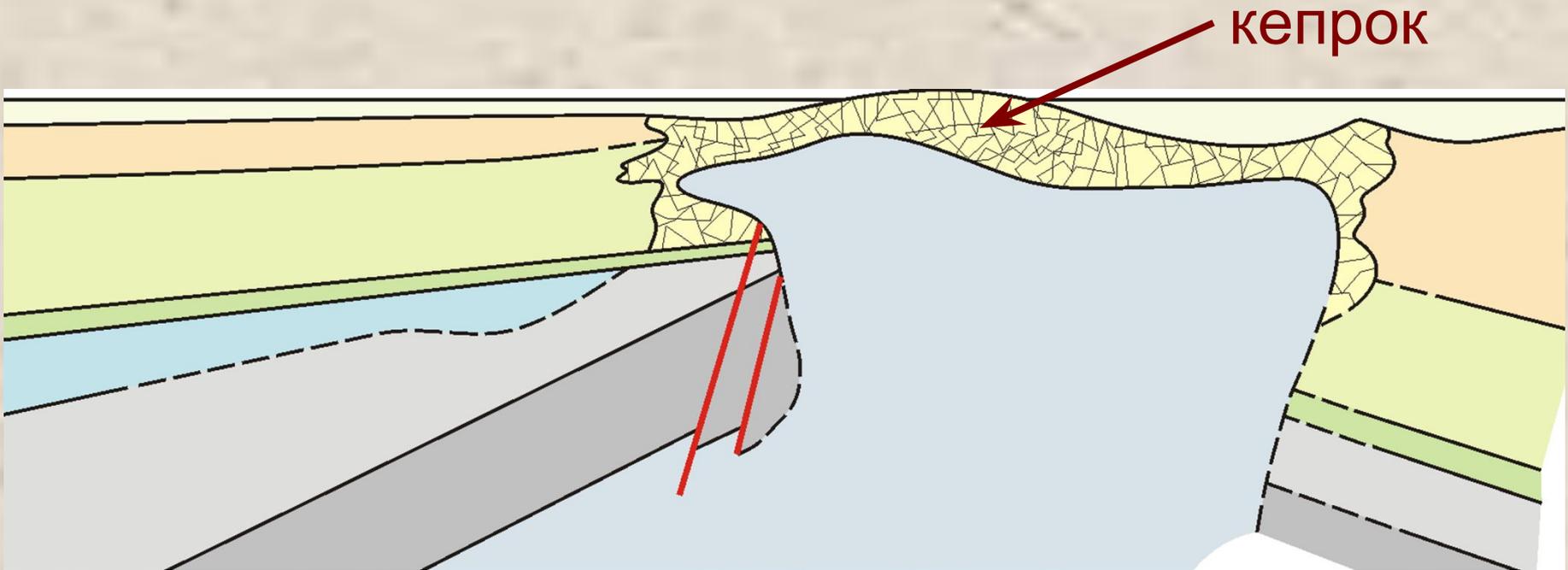
Цвет белый, серый, реже голубоватый и красный.

Структуры гипидиоморфные и гранобластовые.

Текстуры массивные и слоистые.

Хлоридолиты

Соль при относительно низких температурах и давлении способна к пластическому течению (*галокинез*).



Хлоридолиты

Сильвиниты

калийная соляная порода, красная и пестрая, бесцветная, неслоистая и тонкослоистая, полосчатая, с разной примесью (ангидритовой, полигалитовой, кизеритовой, карбонатной, глинистой),

Они часто смешанные, галито-сильвиновые.

Мощность пластов достигает десятков метров.

Хлоридолиты

Карналлиты, карналлитолиты

по распространенности и значению уступают только сильвинитам.

Чаще всего они срastaются с галитом и сильвином,

а в месторождениях сульфатного типа с каинитом, кизеритом, ангидритом, а также с магнезитом, анкеритом и др

Хлоридолиты

Карналлиты, карналлитолиты

Цвет чаще всего красный, от темного и сургучного до светло-желтого, иногда с лиловатым и зеленоватым оттенками, в единичных кристаллах бесцветен.

В шлифах нередко видны таблички гематита и иголки гётита.

Характерны двойники: полосчатые, решетчатые и неправильные.

Текстуры массивная, слоистая, пятнистая, петельчатая, замещения.

Хлоридолиты

Бишофитолиты, бишофитовые породы

распространены ограниченно, образуют линзы, гнезда, прослои в калийных и других солях.

Структура разномзернистая, чаще средне- и крупномзернистая, близкая к гранобластовой.

Фторидолиты, или флюорититы

образуют небольшие гнезда и скопления в пелитоморфных хемогенных доломитах, гипсах, и ангидритах, а также в органогенных, нормально-морских известняках.



Растворимые карбонаты

Это *содовые породы*, белые, землистые или кристаллические, состоящие из ромбоидальных табличек ромбической сингонии, с низкими показателями преломления, но с высоким (0,035) двупреломлением.

Образуются в значительных массах на средних стадиях **выпаривания содовых озер**.



Нитратолиты

Нитратолиты, или селитровые породы (натриевые и калиевые), легко растворимые в воде, накапливаются только в аридном климате в результате бактериального разложения органических остатков, в том числе и копролитов.

Нитратолиты

Натровая (чилийская) селитра — тригональная, ромбоэдрическая, сходная с кальцитом, но с более низким преломлением.

Образует зернистые массы, корки, выцветы, солончаки и пластовые накопления.

Часто связана с залежами гуано и карстом



Добыча селитры в Чили

Нитратолиты

Калиевая селитра — ромбическая, игольчатая, сходная с арагонитом, но с более низким преломлением, встречается в виде выцветов в почвах и налетов в пещерах.

Боратолиты, или боратовые породы

Основными представителями – гидроборацитовые и борацитовые породы белого или иного (от примесей) цвета, кристаллические и землистые, в виде натеков, сферолитовых образований, жил, линз и редких пластов, встречающихся в гипсе, ангидрите, других солях и глинах.

Происхождение эвапоритов

Четыре основных вопроса:

1) почему при современных малых площадях соленакопления древние толщи солей имеют огромные площади распространения – до 1 млн. км²?

Происхождение эвапоритов

Четыре основных вопроса:

2) как прежде могли выпадать в осадок толщи солей мощностью в десятки и сотни метров,

если для извлечения из морской воды 3-метрового пласта гипса необходимо осушение водоема глубиной около 4 200 м, а для формирования 40 000 км³ девонских солей в Днепровско-Донецкой впадине потребовалось бы выпарить столб океанской воды высотой более **51 км?**

Происхождение эвапоритов

Четыре основных вопроса:

3) почему при выпаривании морской воды соли из нее выпадают не в той же последовательности, какая наблюдается в соленосных комплексах геологического прошлого?

Происхождение эвапоритов

Четыре основных вопроса:

4) почему при массовом соленакоплении не иссякали солевые резервы Мирового океана?

Происхождение эвапоритов

Соленакотпление происходит по-разному в двух принципиально различных типах ландшафтов:

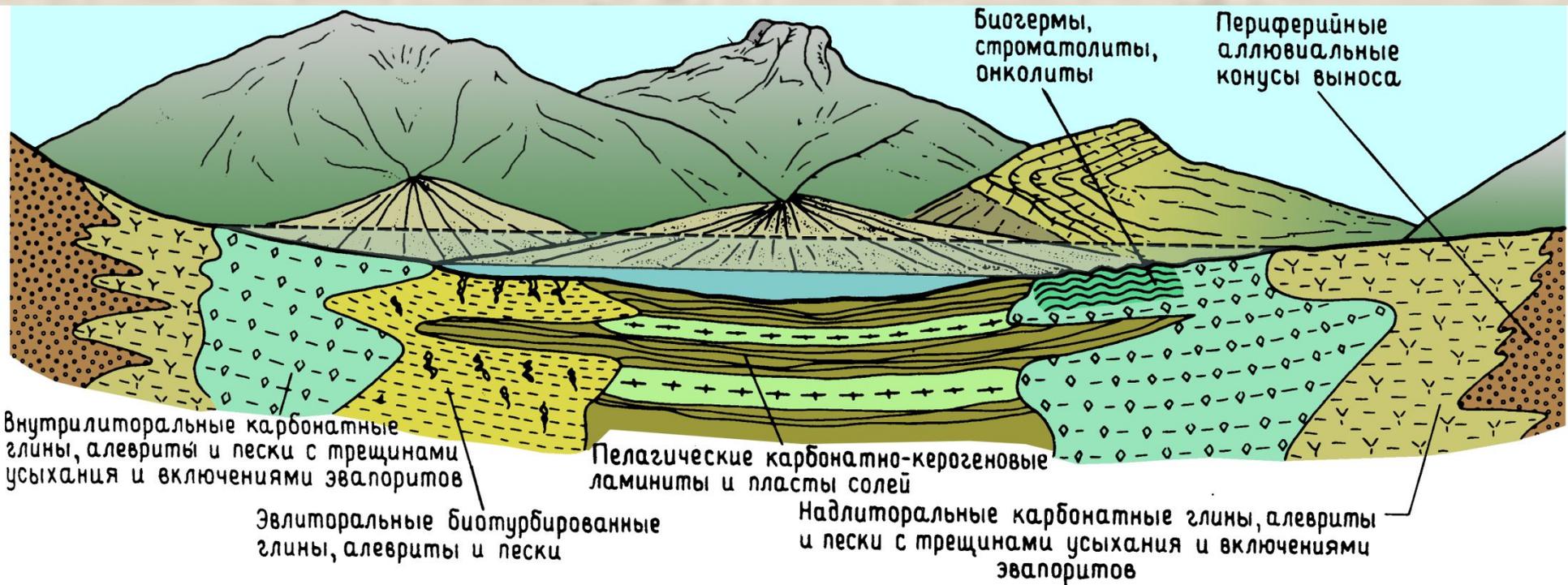
- 1) континентально-озерном;
- 2) лагунно-морском.

Сейчас преобладает первый тип, в прошлом — второй.

Происхождение эвапоритов

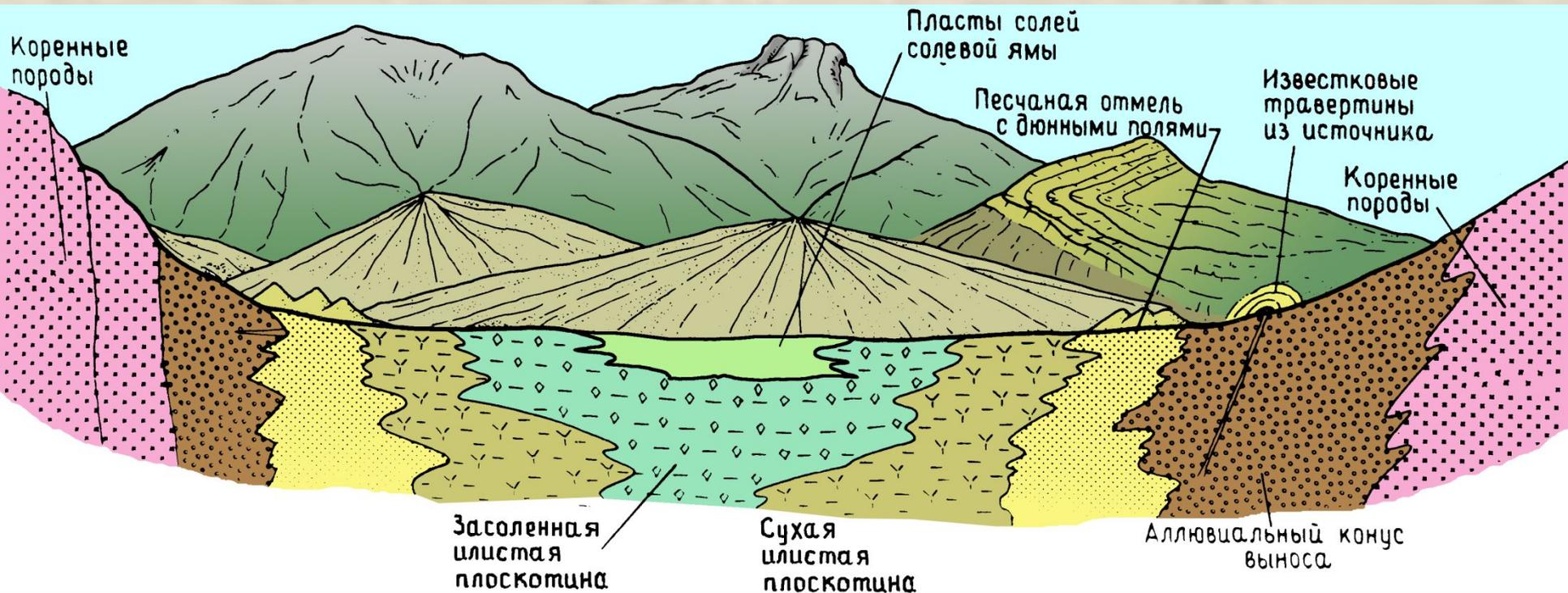
Соленые озера представляют собой бессточные бассейны аридных климатических зон, куда соли привносятся реками либо подземными водами.

Происхождение эвапоритов



Обстановка осадконакопления в гидрологически закрытой впадине с непересыхающим соленым озером

Происхождение эвапоритов



Обстановка осадконакопления в гидрологически закрытой впадине с пересыхающим соленым озером

Происхождение эвапоритов

Солевой состав озер разный, он зависит от составов дренируемых пород.

Воды таких бассейнов принадлежат к одному из трех химических типов:

- 1) хлоридному — насыщенному NaCl;
 - 2) натриево-сульфатному;
 - хлоридно-карбонатному (содовые озера).
- Озера, насыщенные боратами, редки .

Происхождение эвапоритов

Совершенно иные условия в лагунно-морских солеродных бассейнах.

Их воды относятся к сульфатно-магниевым.

Составы и последовательность выпадения из них солей здесь другие, чем в озерах.

Происхождение эвапоритов

В древние эпохи окраинно-морские обстановки эвапоритовой седиментации имели намного большие масштабы, чем сейчас.

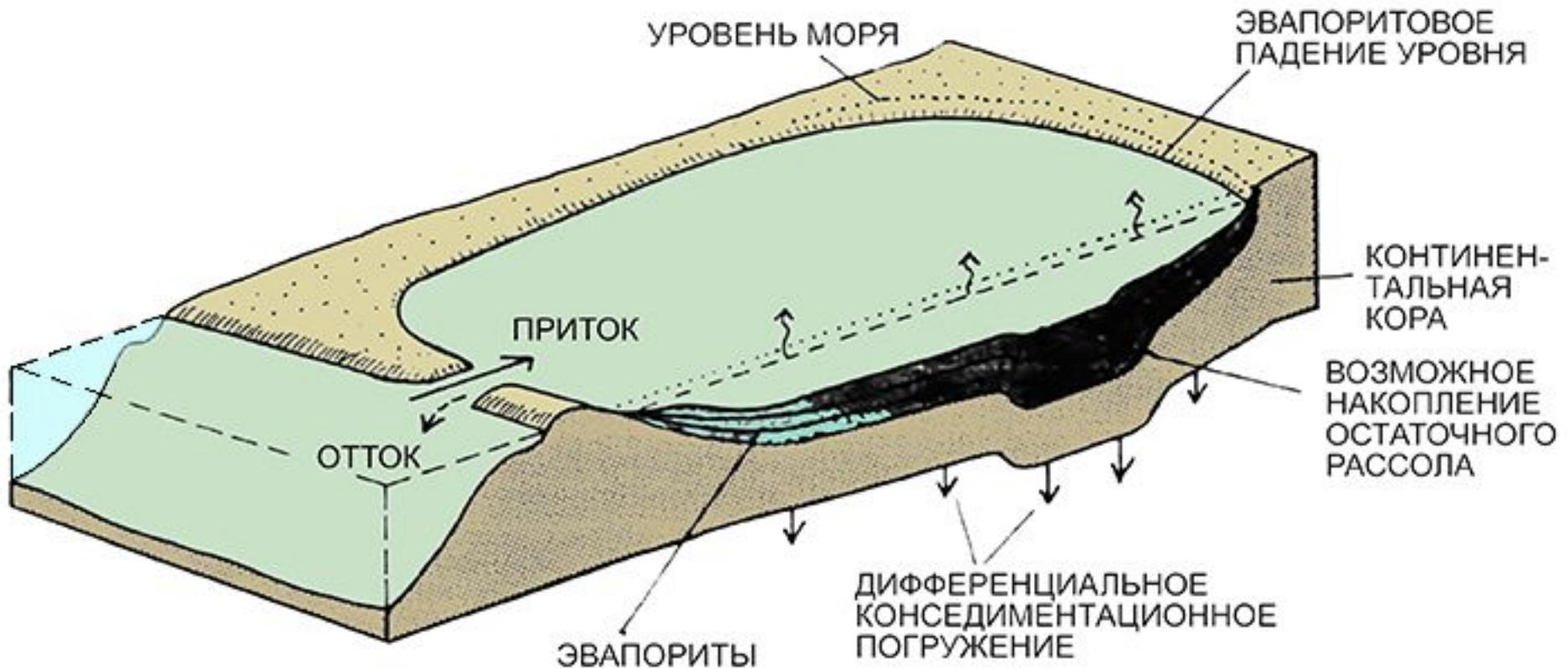
Эвапоритовые отложения **накапливаются очень быстро**, в 10—100 раз быстрее, чем большинство других осадков.

Происхождение эвапоритов

Теория Бишофа и Оксениуса считается наиболее обоснованной.

По этой модели осаждение эвапоритов происходило из сравнительно глубокой застойной массы рассола, периодически пополняемой океанской водой через барьер.

Происхождение эвапоритов



Модель образования глубоководных эвапоритовых отложений.

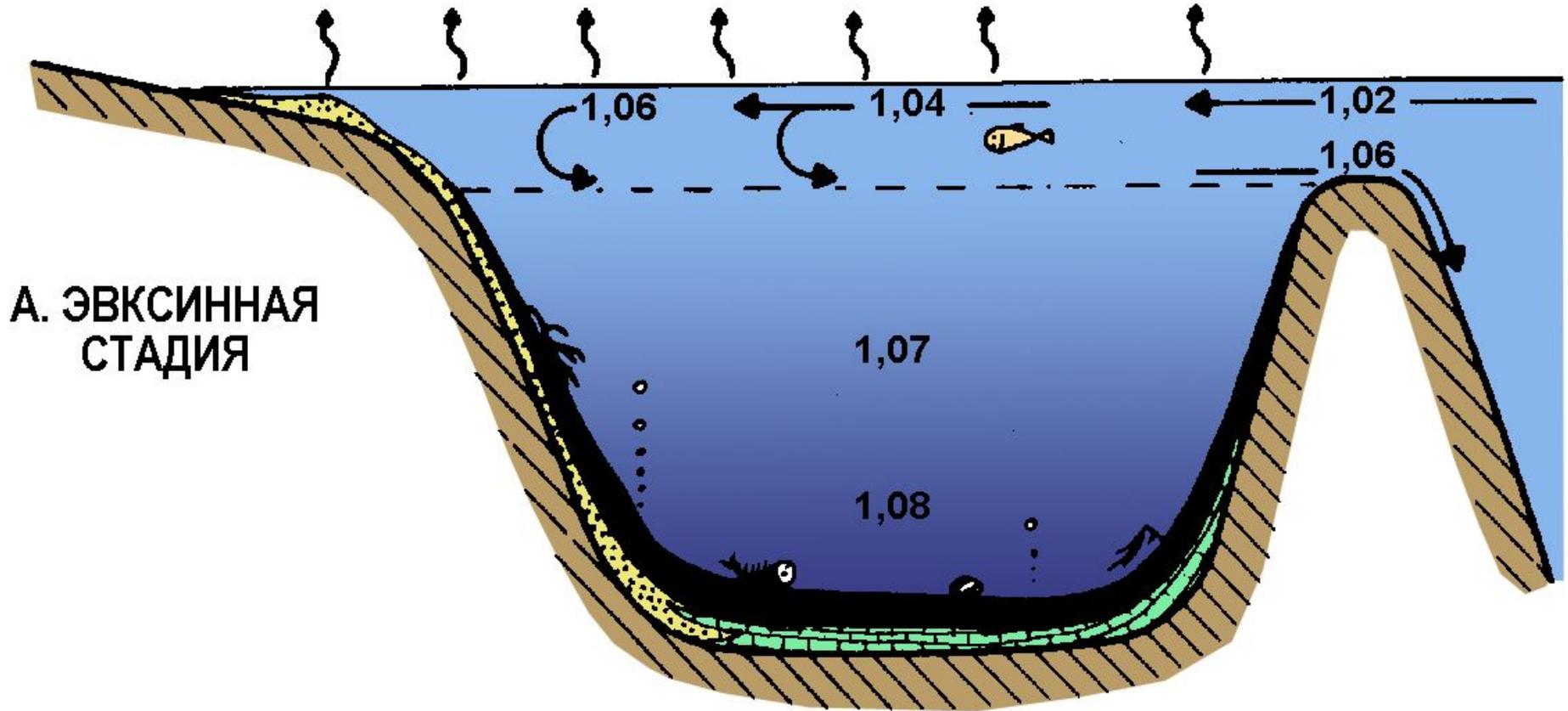
Выделяют *четыре стадии* заполнения бассейна:

- а) **эвксинная**
- б) **эфемерная**
- в) **постоянная эвапоритовая**
- г) **заключительная**

Условные обозначения

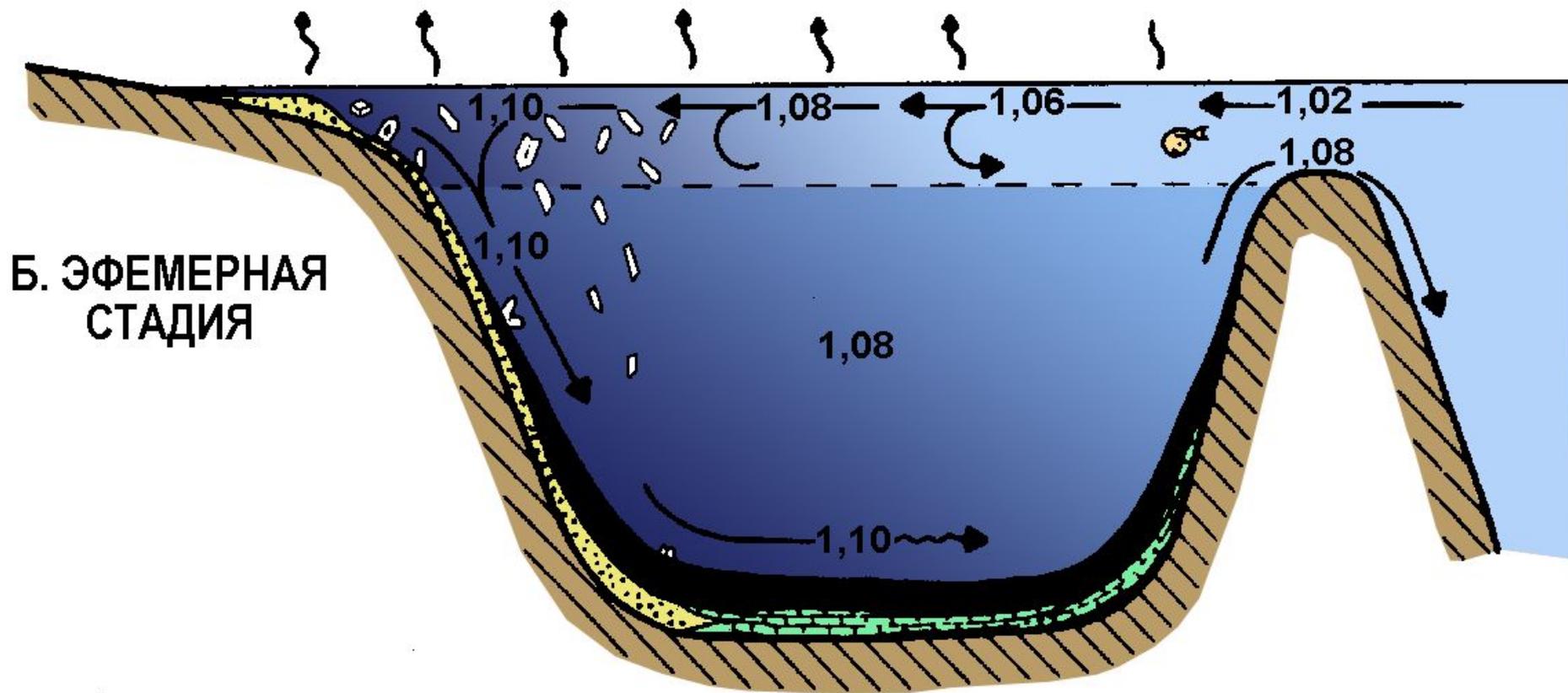


1 — калийные соли; 2 — галит; 3 — гипс, ангидрит;
4 — эвксинные осадки; 5 — доломитизированные
карбонаты; 6 — песчаники; 7 — кубический галит;
8 — воронкообразный галит; 9 — гипс.

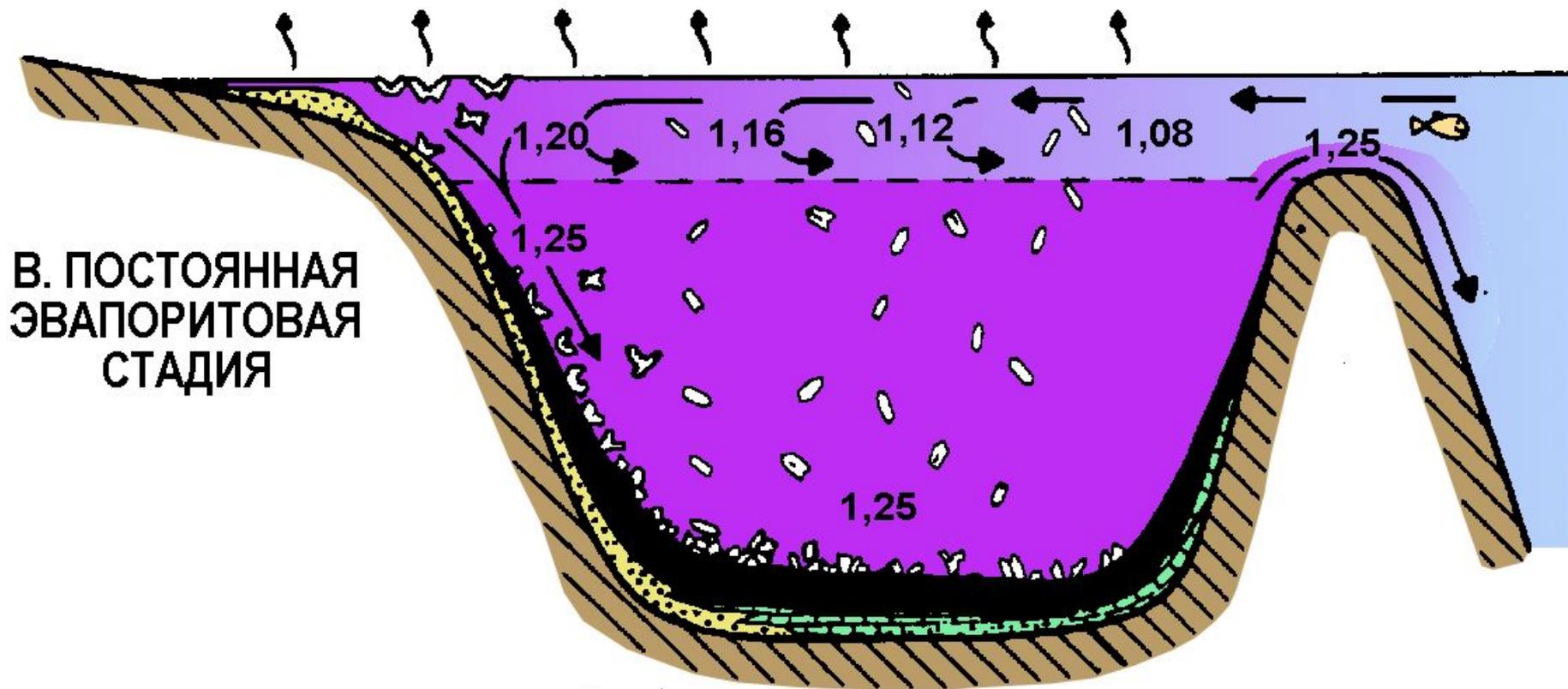


А. ЭВКСИННАЯ
СТАДИЯ

Эвксинная стадия: стагнация на глубине ниже порога; придонные воды обеднены кислородом; бентос анаэробный, nekton нормально морской; сапропелевые фации.

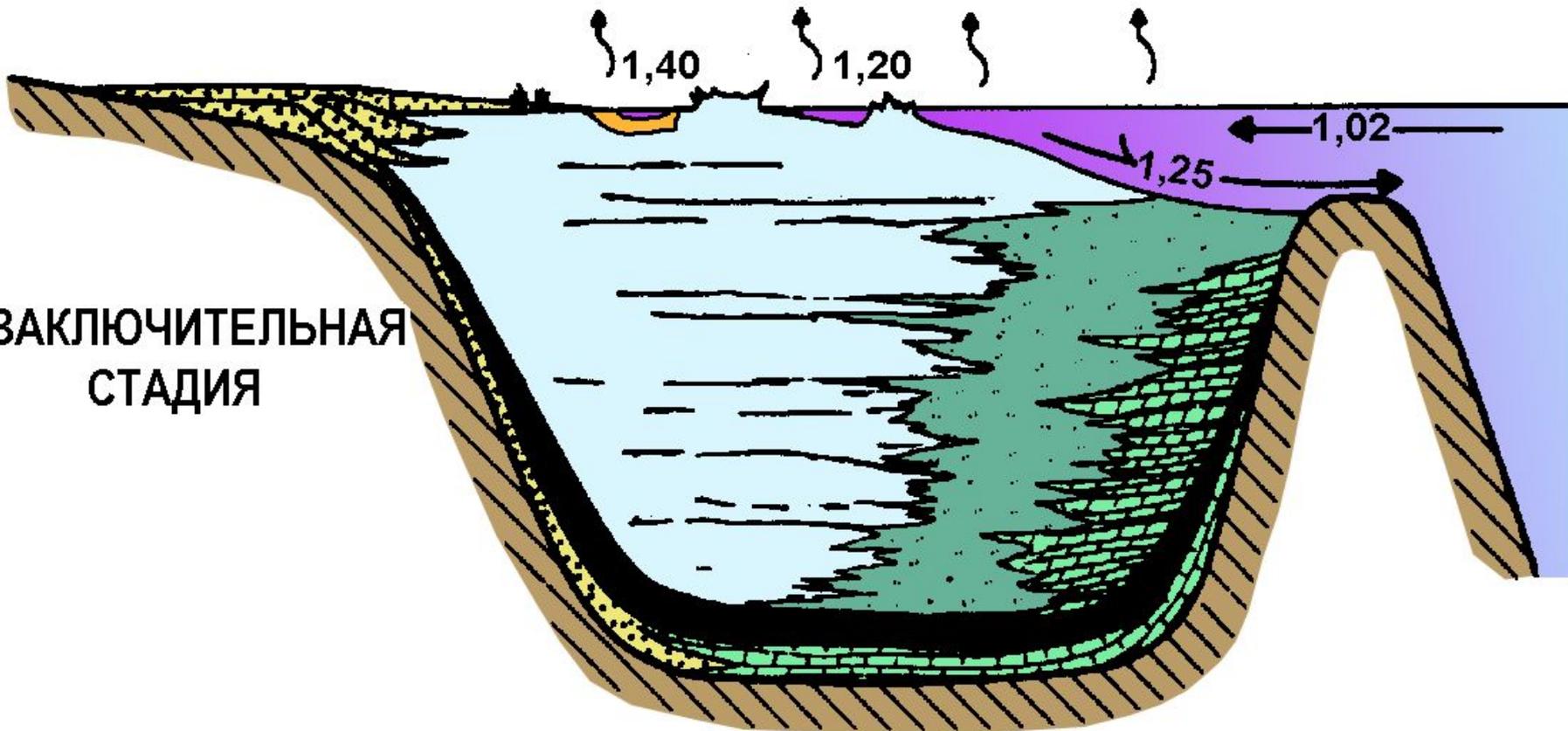


Эфемерная стадия: постоянная стагнация на дне; соли, осаждающиеся в поверхностных водах, растворяются на глубине; фауна редка или отсутствует.



Постоянная эвапоритовая стадия: донный рассол насыщен галитом; галит и гипс, образующиеся в поверхностных водах, сохраняются на глубине; донный рассол замещается солями.

Г. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНАЯ
СТАДИЯ

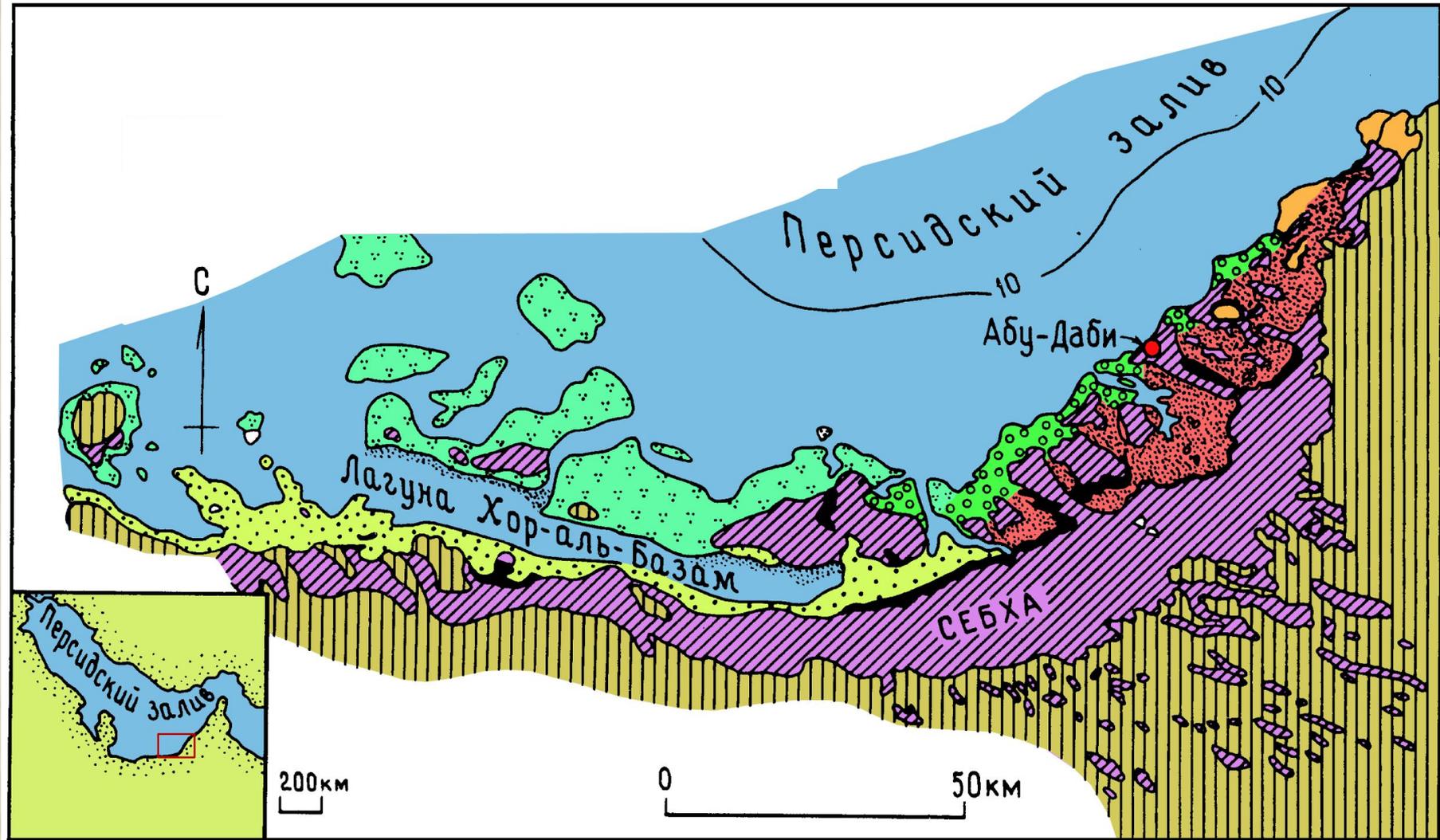


Заключительная стадия: бассейн заполняется солями; на поверхности окислительные условия, соляные пруды, эоловые осадки и выцветы солевых корок; формируются калийные соли.

Происхождение эвапоритов

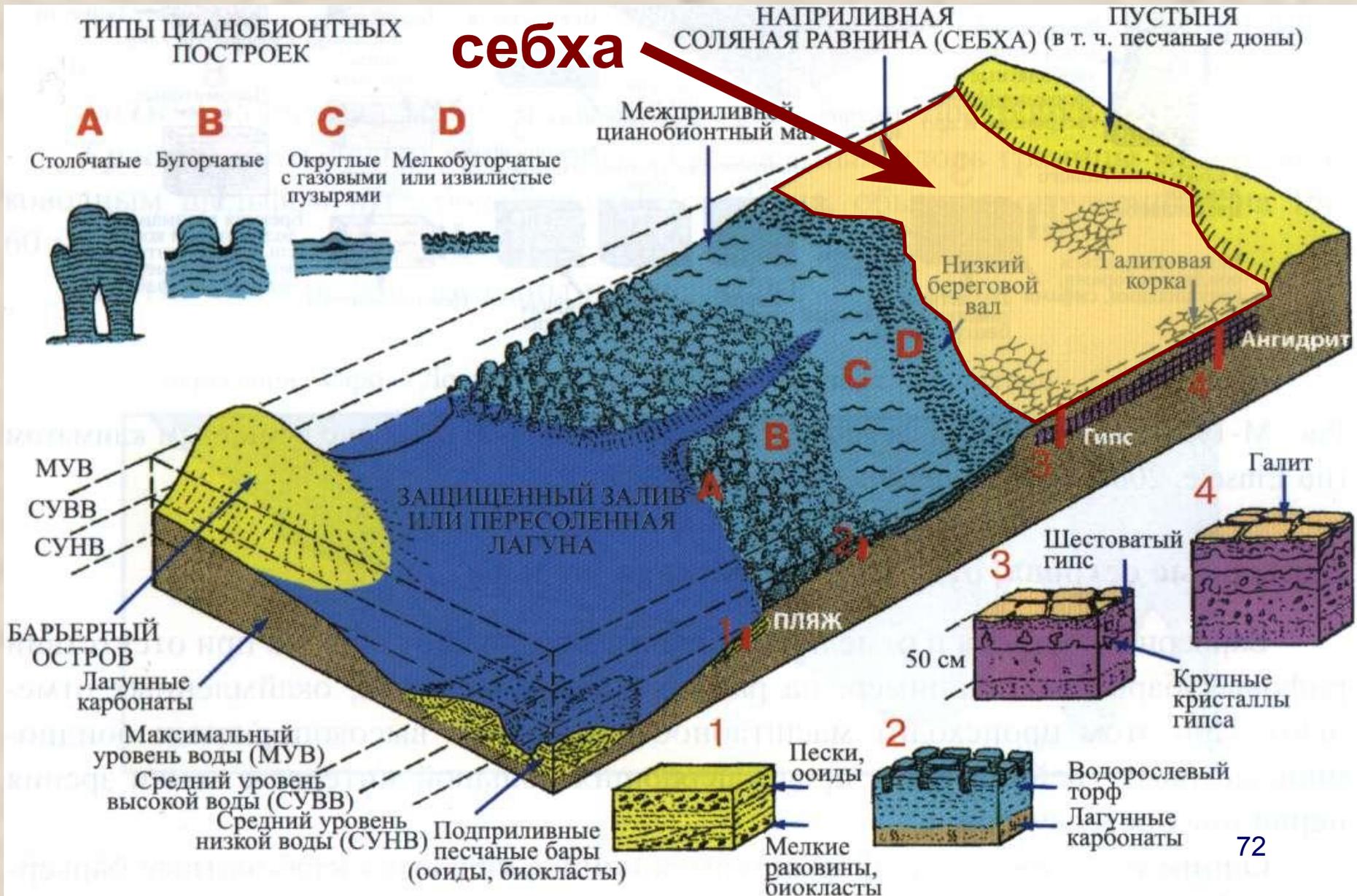
Вторая модель соленакопления – *себха*.

В районе Абу-Даби на берегу Персидского залива осадконакопление на побережье связано с *себхами* – засоленными надлиторальными равнинами.



Карта фаций прибрежных карбонатов в районе Абу-Даби, побережье Персидского залива. 1 – суша; 2 – себха; 3 – водорослевые маты; 4 – пеллеты и илы; 5 – пеллеты, грейпстоны и скелетные пески; 6 – оолиты; 7 – органогенные рифы и кораллово-водорослевые пески; 8 – скелетные пески; 9 – глубина, морские сажени.

Происхождение эвапоритов



Происхождение эвапоритов

Большая часть грунтовых вод происходит за счет просачивания штормовых потоков и стекающих в море грунтовых вод суши.

Быстрое испарение приводит к концентрированию поровой жидкости и осаждению гипса, ангидрита и галита в промежутках между зернами осадка.

Гипс и галит, кроме того, образуются в пониженных участках поверхности и в замкнутых лагунах и входят затем в комплекс отложений себхи.

Происхождение эвапоритов

Основной вклад ионов в грунтовые воды себхи дает море.

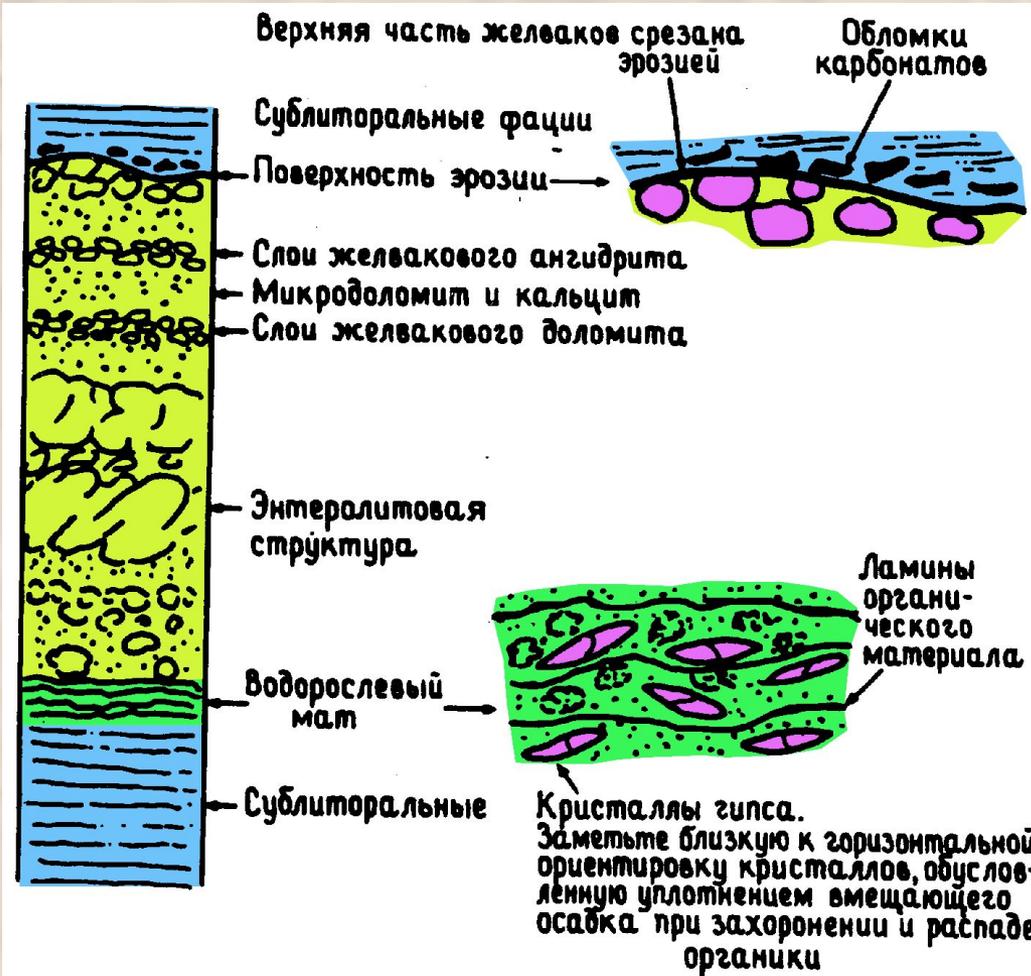
Морские воды поступают в себху с брызгами, разгрузочными потоками и в результате интенсивного испарения — процесса, известного как *эвапоритовая накачка*.



Отложения галита на поверхности себхи после шторма 75

Идеализированный вертикальный разрез себхи:

в самом низу отложения сублиторальные, далее (вверх) литоральные и надлиторальные фации.



Верхняя часть разреза срезана и перекрывается снова сублиторальными отложениями.

Происхождение эвапоритов

Модель высыхающего бассейна

предполагает несколько событий заполнения и высыхания бассейна.

В результате образуются концентрические зоны осаждения карбонатов, сульфатов и галита.

В этой модели эвапоритовые фации сменяются латерально и имеют кольцевое расположение.

Происхождение эвапоритов

5—6 млн. лет назад было несколько эпизодов *понижения уровня Средиземного моря.*

Частично или полностью *закрывался проход в Атлантический океан,*

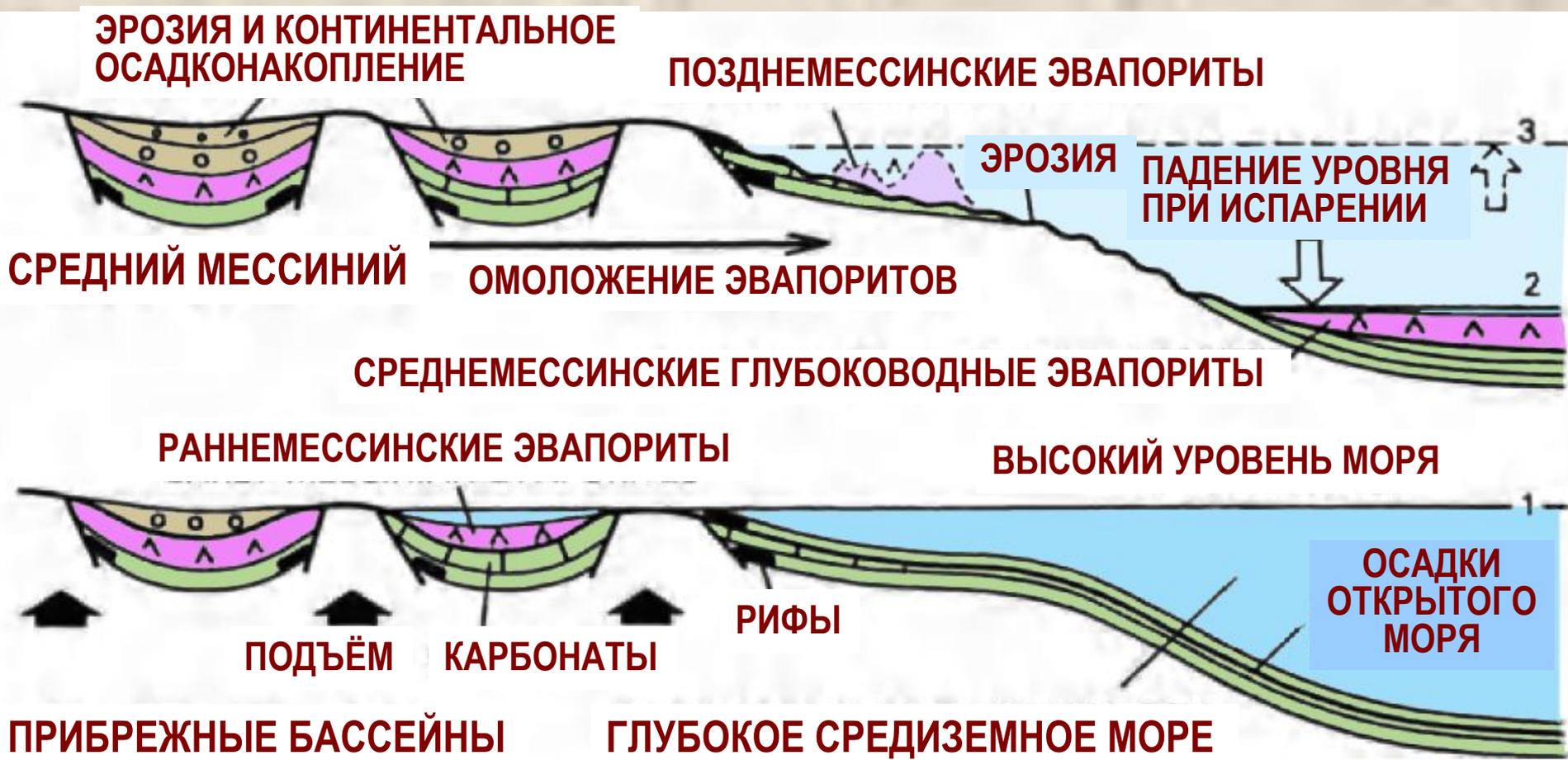
затем следовало новое наполнение бассейна и возобновление нормального морского осадконакопления.

Происхождение эвапоритов

Мессинский кризис солёности послужил основой для модели *высыхающего глубоководного бассейна*.

Происхождение эвапоритов

Эвапоритовые события средиземноморского мессиния продлились не более 500 тыс. лет, за это время было образовано 1,5—2 км сульфата кальция и галита со средней скоростью 3—4 м/1000 лет.



Эвапоритовые события средиземноморского мессиния. 1, 2, 3 – последовательные стадии

Происхождение эвапоритов

Таким образом, разработаны **три основные модели** для большинства древних эвапоритовых отложений:

- 1) замкнутый бассейн, субаквальное отложение в условиях от мелководных до глубоководных,
- 2) субаэральное осаждение в прибрежных себхах и солончаках,
- 3) осаждение в глубоких, частично осушенных бассейнах, как в себхах, так и внутри соленых водных масс.

Происхождение эвапоритов

Эти модели не исключают друг друга, и многие древние эвапориты отлагались при разнообразном сочетании тесно связанных обстановок.

Происхождение эвапоритов

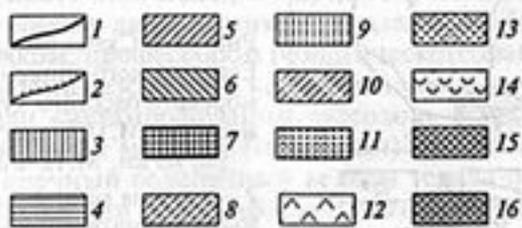
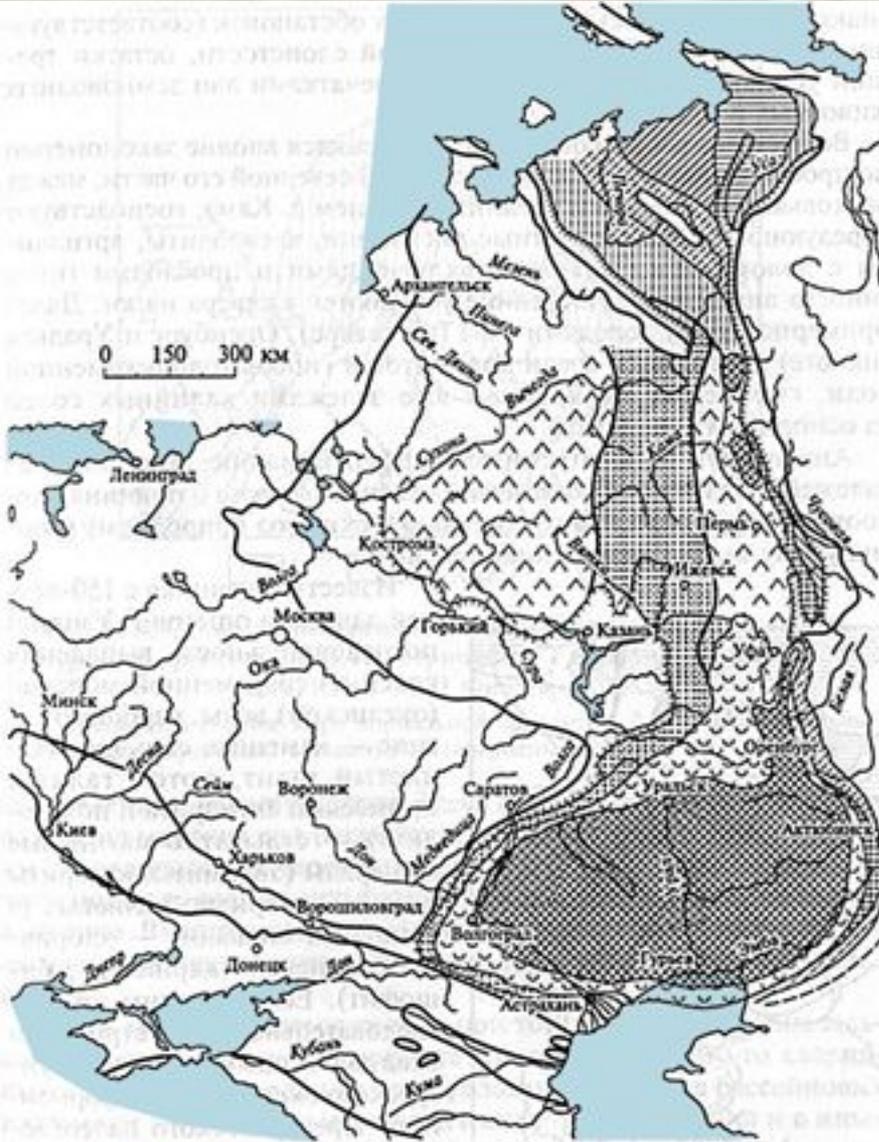
В древние эпохи окраинно-морские обстановки эвапоритовой седиментации имели намного большие масштабы, чем теперь.

Существовали лагуноподобные, мелкие и разделенные узкими проливами моря.

Испарение вод этих морей пополнялось притоками из океанской акватории все новых и новых вод.

Происхождение эвапоритов

Один из примеров – палеобассейн кунгурского века на восточной окраине Русской плиты.



Районы распространения:

- 1 – пермских отложений;
- 2 – кунгурского яруса;
- 3 – терригенных грубозернистых пород;
- 4 – терригенных угленосных отложений;
- 5 – аргиллитов, алевролитов и песчаников;
- 6 – то же, с включениями и прослоями гипса и ангидрита;
- 7 – терригенно-соленосных отложений;
- 8 – песчаников и аргиллитов с прослоями известняков;
- 9 – то же, с прослоями доломитов и ангидритов (гипсов);
- 10 – глинистых доломитов;
- 11 – то же, с прослоями ангидритов;
- 12 – чередования ангидритов, глинистых доломитов и мергелей;
- 13 – доломитов и ангидритов;

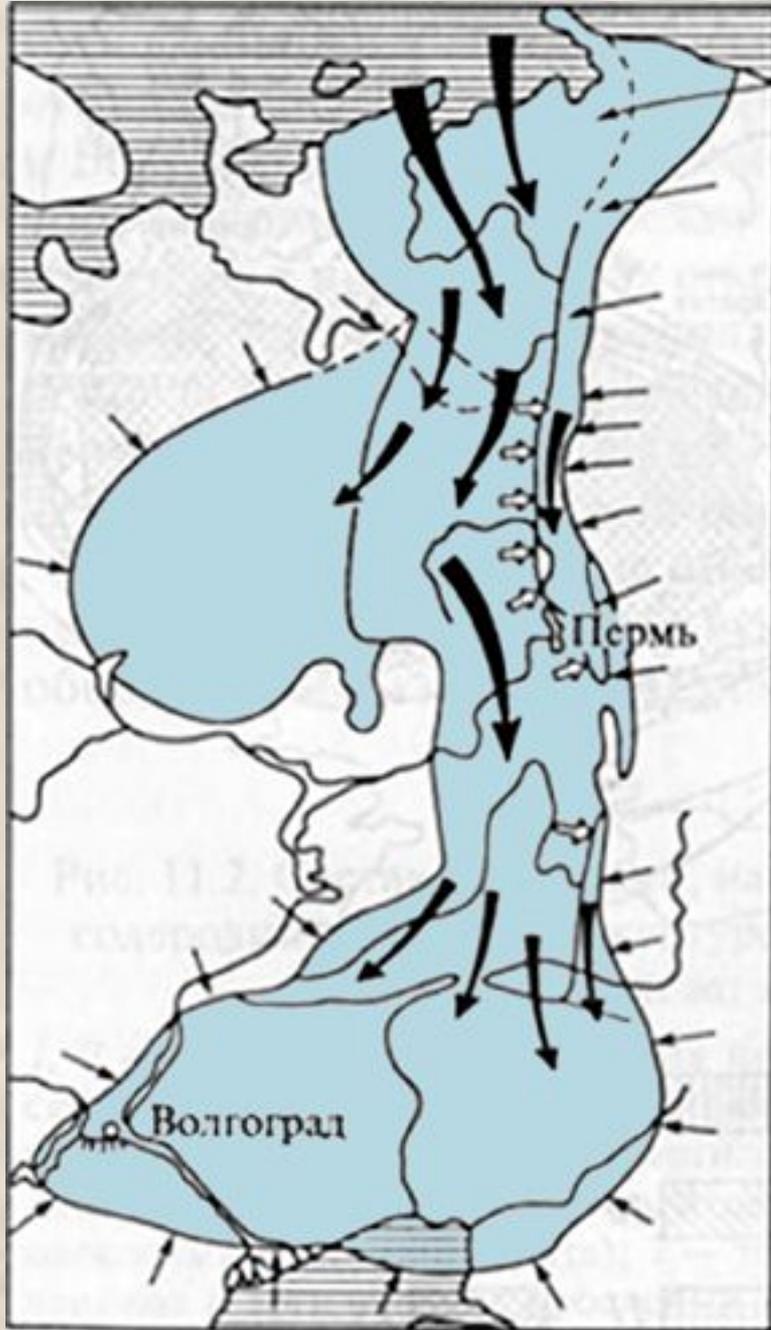


Схема питания Восточно-Европейского эпиконтинентального морского бассейна кунгурского времени (М.П.Фивег, 1983):

- 1 — морская вода;
- 2 — воды суши;
- 3 — воды эпиконтинентального моря, поступающие в солеродный бассейн

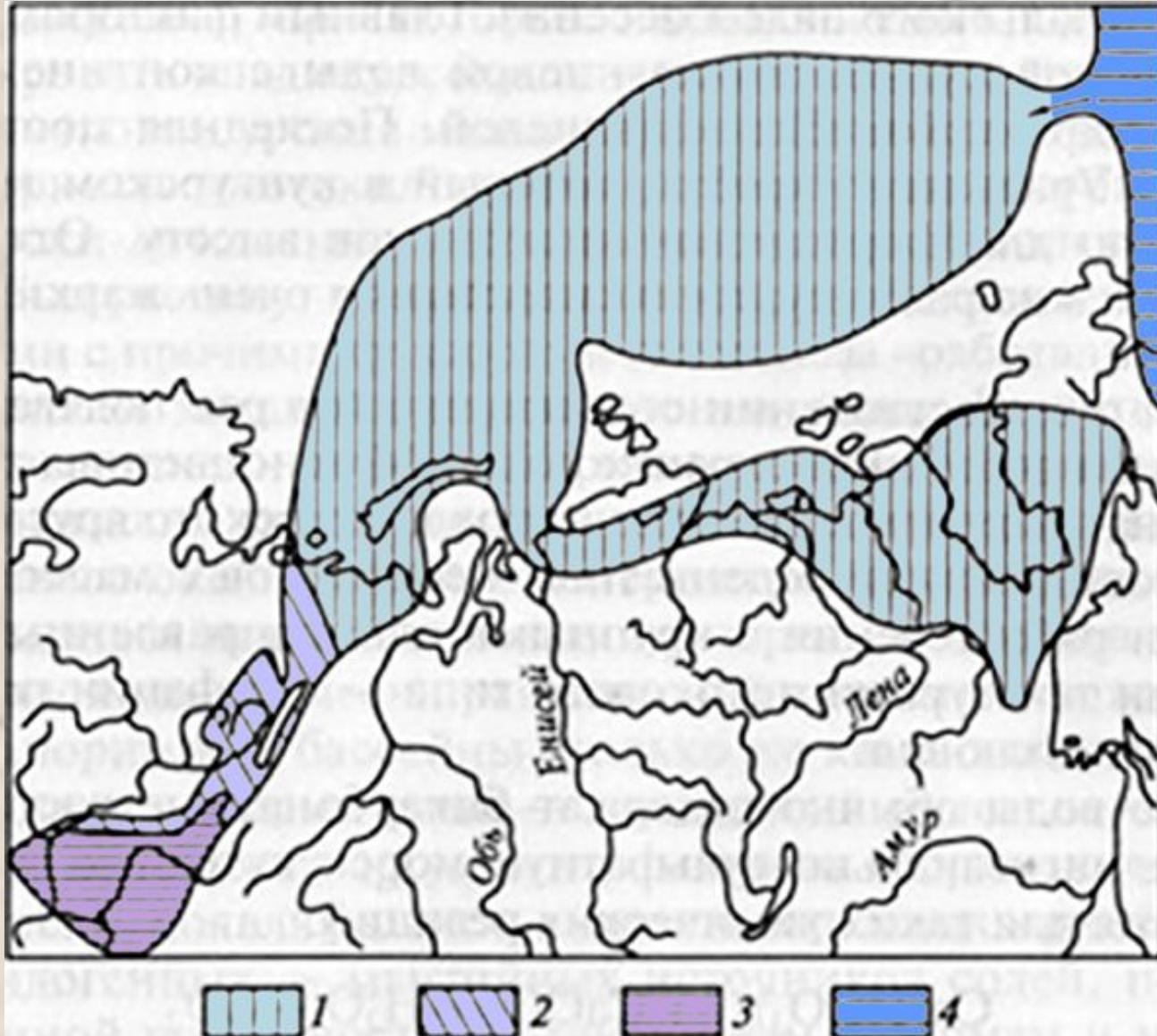


Схема расположения Восточно-Европейского бассейна кунгурского времени (по В. И. Устрицкому, с дополнениями):

1 — эпиконтинентальное море нормальной солености; 2 — промежуточный бассейн; 3 — солеродный бассейн; 4 — океан

Практическое значение

Все соли являются ценными полезными ископаемыми.

Соль — один из основных продуктов питания, калийные и азотные соли — ценнейшие удобрения, все соли — ценное химическое сырье, многие гипсы — поделочные камни и сырье для производства стройматериалов и алебастра; по сульфатам образуются месторождения серы.

Соляные купола – ловушки углеводородов.

Выводы

1. *Соляными породами* (кратко — солями, или *эвапоритами*) именуют образования, состоящие преимущественно из легко- или заметно растворимых в воде минералов.
2. Большинство солей образуются в водоемах за счет повышения концентрации до перенасыщения и выпадения осадков.
3. Соли имеют очень важное практическое значение.