

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ВОДЫ НА ЗЕМЛЕ

1

Лектор

к.г.-м.н., доцент отделения геологии ИШПР

Токаренко Ольга Григорьевна

ВИДЫ ВОДЫ В ГИДРОСФЕРЕ

Вода в земных недрах находится в **разнообразных состояниях и видах**, что обусловлено ее взаимодействием с вмещающей средой:

- **породами,**
- **газами,**
- **живыми организмами.**

Определяющую роль в интенсивности и направленности этих процессов играют **физико-химические условия (Eh и pH среды, температура и давление)**.

ВИДЫ ВОДЫ В ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЕ:

1. В ФОРМЕ ПАРА

2. СВОБОДНАЯ ВОДА

а) вакуольная; б) капиллярная; в) гравитационная

3. ФИЗИЧЕСКИ СВЯЗАННАЯ ВОДА

а) адсорбированная; б) пленочная

4. ВОДА В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

5. ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННАЯ ВОДА

а) конституционная; б) кристаллизационная; в) цеолитная

6. ВОДА В НАДКРИТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ

7. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ СВЯЗАННАЯ ВОДА

**В ГОРНЫХ
ПОРОДАХ**

ВИДЫ ВОДЫ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

(переработанная классификация):

1. ВОДА В ФОРМЕ ПАРА

2. СВОБОДНАЯ ВОДА

- а) капиллярная;*
- б) гравитационная*

3. ФИЗИЧЕСКИ СВЯЗАННАЯ ВОДА

- а) адсорбированная (прочносвязанная) ;*
- б) пленочная (рыхло- или слабосвязанная)*

4. ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННАЯ ВОДА

- а) конституционная;*
- б) кристаллизационная;*
- в) цеолитная*

5. ВОДА В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ (лед)

1) ВОДА В ФОРМЕ ПАРА



1. Общее содержание пара в почве не превышает 0,001 % от всей массы. **Является единственной, способной перемещаться при небольшой влажности породы**
2. Перемещение пара происходит **от участков с большей влажностью и температурой пара к участкам с меньшими значениями** этих параметров во всех направлениях (вертикальное, горизонтальное)
3. Пар в горные породы **поступает из воздуха или может быть продуктом испарения подземных капельно-жидких вод**, потом движется вверх в атмосферу.
4. Через парообразное состояние верхней части литосферы - зону аэрации - **проходят огромные массы влаги, которые участвуют в пополнении ресурсов водоносных горизонтов в результате конденсации, а также в расходовании подземных вод вследствие их испарения.**

2) СВОБОДНАЯ ВОДА

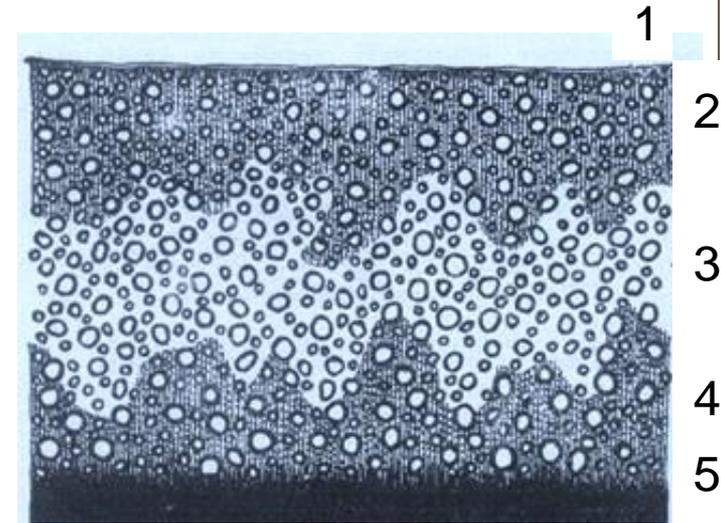
– количество зависит от наличия пустот в г/п.

а) Капиллярная вода – вода, образующаяся в местах соприкосновения минеральных частиц в виде отдельных капель. Капли изолированы друг от друга поверхностями частиц и менисковыми поверхностями, неподвижны.

При увеличении влажности грунта капиллярные поры полностью заполняются водой.

Различают:

- **собственно капиллярные воды** – соединены с уровнем первого от поверхности Земли водоносного горизонта (грунтовые воды)
- **подвешенные капиллярные воды** – такой связи нет.



Подвешенная и грунтовая вода:

- 1 – поверхность почвы
- 2 – подвешенная вода
- 3 – мертвый горизонт
- 4 – капиллярная вода
- 5 – водоносный слой грунтовой воды

б) Гравитационная вода — это вода, находящаяся в физически свободном состоянии под действием силы тяжести.



1. Обладает свойствами обычной жидкой воды
2. Передает гидростатическое давление, растворяющую способность, механическое действие на вмещающие породы.
3. Передвижение под влиянием силы тяжести и напорного градиента.
4. Содержание определяется характером пустот водовмещающих пород.

Наибольшее количество: в галечниках, крупнозернистых песках, интенсивно трещиноватых породах.

Малое количество: в глинистых, слабо трещиноватых породах

Различают:

1. Инфильтрующуюся воду зоны аэрации – просачивается сверху вниз

2. Фильтрующуюся воду зоны полного насыщения — движется в виде потока по водоносному горизонту.

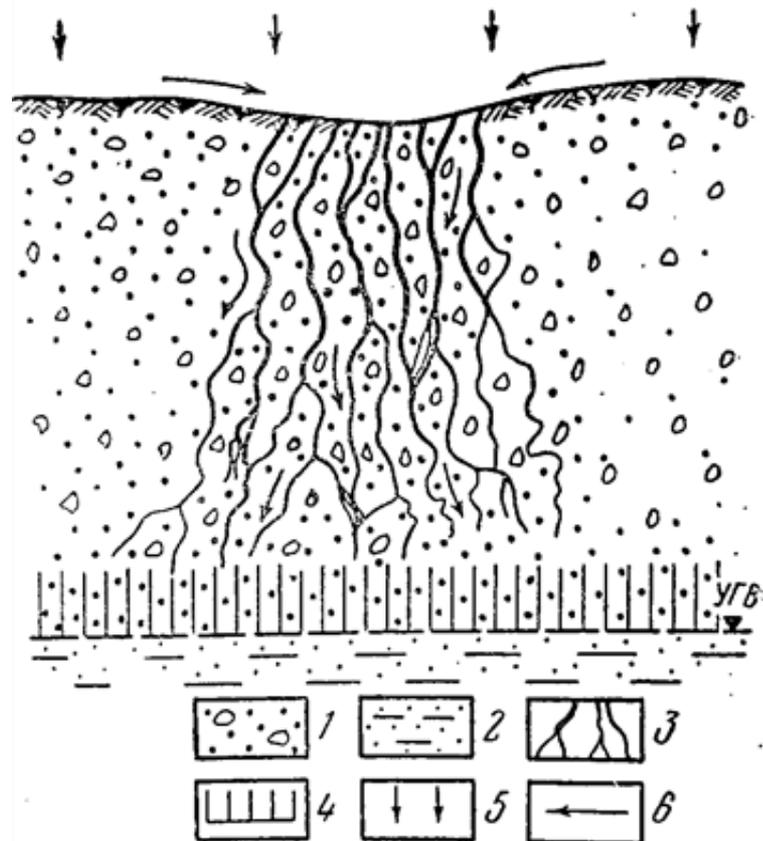


Схема свободного просачивания воды через породы зоны аэрации

- 1 – песок крупнозернистый гравелистый,
- 2 – песок среднезернистый,
- 3 – свободное просачивание воды с поверхности,
- 4 – капиллярная кайма,
- 5 – атмосферные осадки,
- 6 – направление поверхностного стока

3) ФИЗИЧЕСКИ СВЯЗАННАЯ ВОДА (МОЛЕКУЛЯРНАЯ)

ЭТОТ ВИД ВОДЫ В ГЛИНИСТЫХ ПОРОДАХ

1. Свойства резко отличаются от свободной воды
2. Средняя плотность связанной воды глин **превышает плотность свободной воды** и колеблется в пределах 1,2 – 1,4 г/см³
3. **Температура замерзания ниже нуля** и понижается вплоть до -100° С при переходе к гигроскопической.
4. Диэлектрическая постоянная уменьшается до 2–2,2, поэтому подвижность и **растворяющая способность значительно меньше, чем свободной.**



Связанная вода содержится в горных породах в виде гидратных оболочек, облекающих мельчайшие минеральные частицы, слагающие породы.

а) Адсорбированная вода образуется в результате сгущения паров на поверхности минеральных частиц и удерживается на поверхности адсорбционными силами.

1. Толщина слоя зависит от минералогического состава, размера и формы частиц, состава ионов, влажности породы, атмосферного давления, температуры.
2. **Малоподвижна**, по своим свойствам близка к свойствам твердого тела:
 - плотность 1,2 – 2,4 г/см³ (в среднем 2 г/см³)
 - температура замерзания от 0 до – 78 °С
3. **Не может растворять соли** и перемещается только в парообразном состоянии.
4. Удаляется из грунтов при температуре 105 °С.
5. Определяет **гигроскопическую влажность грунтов**.

МАКСИМАЛЬНАЯ ГИГРОСКОПИЧНОСТЬ – максимальное количество адсорбированной воды, поглощаемое породой.

Мелкозернистые и глинистые породы – 15 – 18 %

Крупнозернистые отложения – до 5 %.

б) Пленочная вода

1. Способна перемещаться от более влажных участков слоев к менее влажным.
2. Не подчиняется силе тяжести, не передает гидростатического давления.
3. Удерживается в породе силами, в 70000 раз превышающими силы гравитации.
4. При **литификации пород** (превращении рыхлых осадков в твёрдые горные породы) пленочная вода удаляется.
5. Замерзает при $-1,5$ °С, и чем тоньше пленка, тем ниже температура замерзания.
6. Количество пленочной воды в глинистых отложениях максимально в глинах монтмориллонитового состава, в более тонкодисперсных породах оно растет с уменьшением минерализации порового раствора
7. Максимальное содержание составляет (%):
 - для песков 1 – 7
 - супесей 9 – 13
 - суглинков 15 – 23
 - глин 25 – 40

4) ВОДА В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

1. Лед распространен в верхней части литосферы, участвует в образовании

- многолетней,
- сезонной,
- кратковременной (часовой, суточной) мерзлоты.



2. Макроформы подземных льдов разнообразны (линзы, слои, жилы) и названы **жильными льдами**.

3. Образуется в результате:

1. Внедрения и замерзания подземных вод
2. Вследствие захоронения наземных льдов (наледей, льдов водоемов, «снежников» и др.) – погребенные льды

5) ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННАЯ ВОДА

входит в состав кристаллической решетки минералов в виде H_2O , OH^- , H^+ , H_3O^+ , образует химически единое целое с другими элементами решетки.



а) Конституционная - вода, в которой кислород и водород участвуют в молекулярном строении минералов в виде отдельных ионов (например, гидроксильной группы (OH^-)), входящих в состав их кристаллической решетки.

Может быть выделена только при разрушении кристаллической решетки минерала при температуре более 400°C .

Минералы диаспор $\text{AlO}(\text{OH})$, мусковит $(\text{CaAl}_2[\text{AlSiO}_i\text{O}_i] \cdot [\text{OH}]_2)$, каолинит $(\text{Al}_4[\text{SiO}_{10}] \cdot [\text{OH}]_8)$.

б) Кристаллизационная вода

1. Содержится в виде молекул H_2O , постоянно сохраняя определенное их количество.
2. Удаляется из минерала при температуре около $100\text{ }^\circ\text{C}$.
3. При дегидратации минералы изменяют свои свойства.

Минералы **гипс** ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), **мирабилит** ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), **карналлит** ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Например, гипс при потере воды переходит в ангидрит, мирабилит в тенардит, т.е. минералы с другой кристаллической структурой и другими физическими свойствами.

в) Цеолитная вода

1. Связана с минералами непрочно
2. Выделяется при низких температурах
3. Количество ее зависит от температуры и влажности воздуха
4. При нагревании удаляется постепенно, минералы при этом сохраняют свою кристаллическую структуру, меняя лишь оптические свойства.

Минералы **опал** ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), **анальцим** ($\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и др.

6) ВОДА В НАДКРИТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ

1. Состояние воды при температуре **более 374-450 °С** и **давлении более 21,8 МПа**, когда различия между жидкостью и газом отсутствуют
2. Вязкость воды становится меньше, что способствует росту миграционных способностей
3. С повышением температуры и давления увеличиваются пределы растворения химических соединений в воде
4. **Воды в надкритическом состоянии залегают на глубинах, превышающих 5-10 км.** Ближе к поверхности такие воды встречаются в магматических расплавах и при снижении температуры и давления переходят в пар или жидкость.

7) ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ СВЯЗАННАЯ ВОДА

1. Распространена значительно меньше, чем в наземной биосфере.
2. В недрах Земли связана с деятельностью микроорганизмов.
3. Микроорганизмы активно участвуют в создании месторождений газа, нефти, руд, образовании химического состава вод

КРУГОВОРОТ ВОДЫ



Проблема круговорота воды в земных оболочках сводится к проблеме водообмена между океаном и сушей, который осуществляется принципиально разными путями (А.Н. Павлов).

1. Первый путь обусловлен воздействием солнечного тепла и протекает под влиянием метеорологических и гидрологических факторов и известен как **общий круговорот воды в природе**.
2. Второй, менее известный, круговорот воды связан с процессами **осадкообразования в эпиконтинентальных морях, лагунах, озерах**

В каждом типе круговорота **выделяется несколько циклов.**

Под **ЦИКЛОМ** понимается совокупность процессов, обеспечивающих непрерывный водообмен между океаном и сушей и протекающих с постоянной последовательностью и скоростью.

ВИДЫ КРУГОВОРОТОВ:

1. Климатический (гидрологический) круговорот:

- атмосферный цикл
- собственно гидрологический цикл
- подземный цикл

2. Геологический круговорот:

- Седиментационный этап
- Метаморфогенный этап
- Магматогенный этап

3. Мантийный круговорот (по А.П.Павлову):

- Мантийно-океанический цикл круговорота

1. КЛИМАТИЧЕСКИЙ (ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ) КРУГОВОРОТ ВОДЫ



Подсчитано, что австралийский эвкалипт ежедневно перекачивает до 1,5 ц воды, а береза в умеренных широтах испаряет ежегодно 7 тыс. л. воды.

В результате климатического кругооборота непрерывно восполняются запасы подземных вод.



Скорость движения воды в горных породах меньше ее скорости в открытых водотоках, что приводит к большему участию воды поверхностного стока, чем воды подземного стока.

Чем на большую глубину погрузилась вода, тем медленнее она движется в горных породах.



Рано или поздно эта вода снова появляется на поверхности Земли и участвует в климатическом круговороте.

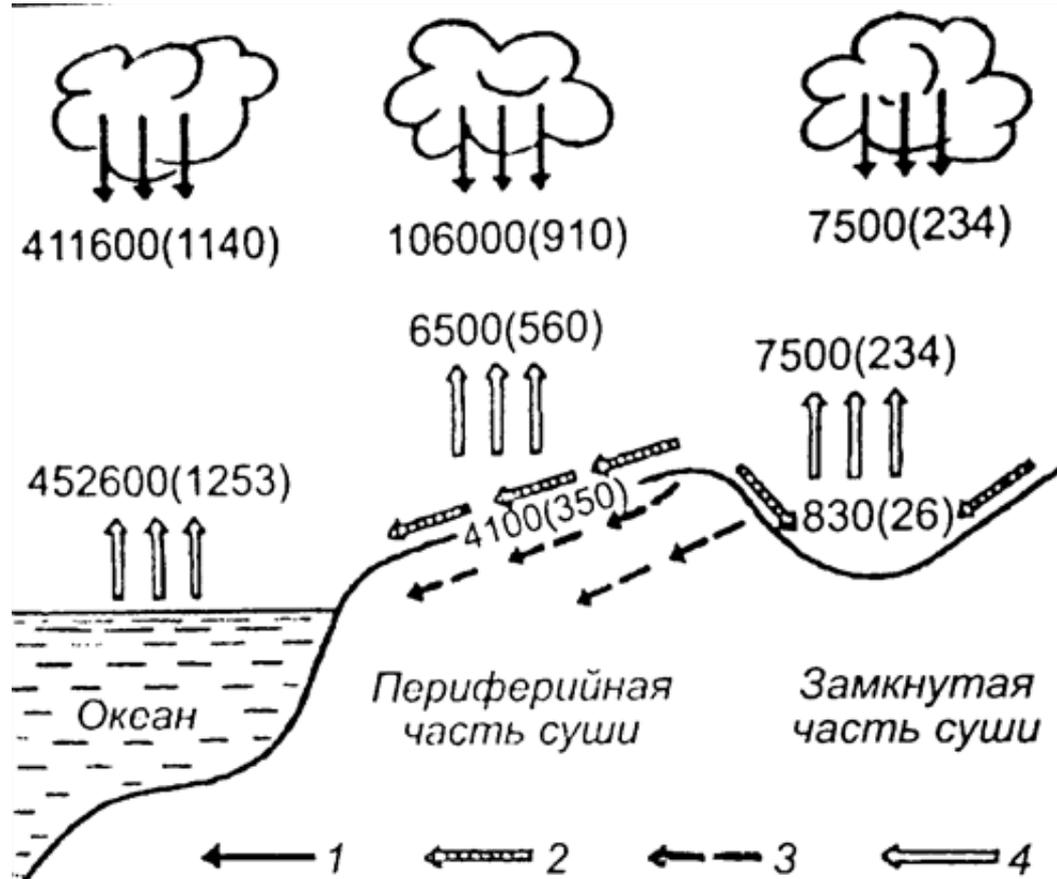


Схема климатического круговорота воды (по Львовичу М.И.)

1 – атмосферные осадки, 2-3 – сток (2 – поверхностный, 3 – подземный) 4 – испарение.

Числа на рисунке – значения соответствующих элементов Мирового водного баланса: без скобок – в км³, в скобках – в мм

Количественное выражение процесса климатического круговорота воды и его отдельных звеньев может быть охарактеризовано с помощью водного баланса.

ВОДНЫЙ БАЛАНС ТЕРРИТОРИИ – накопление и расходование воды в ее пределах за те или иные интервалы времени, зависит от климатических факторов и характера подстилающей поверхности.

Закономерность изменения запасов вод обычно выражается ***уравнением водного баланса***:

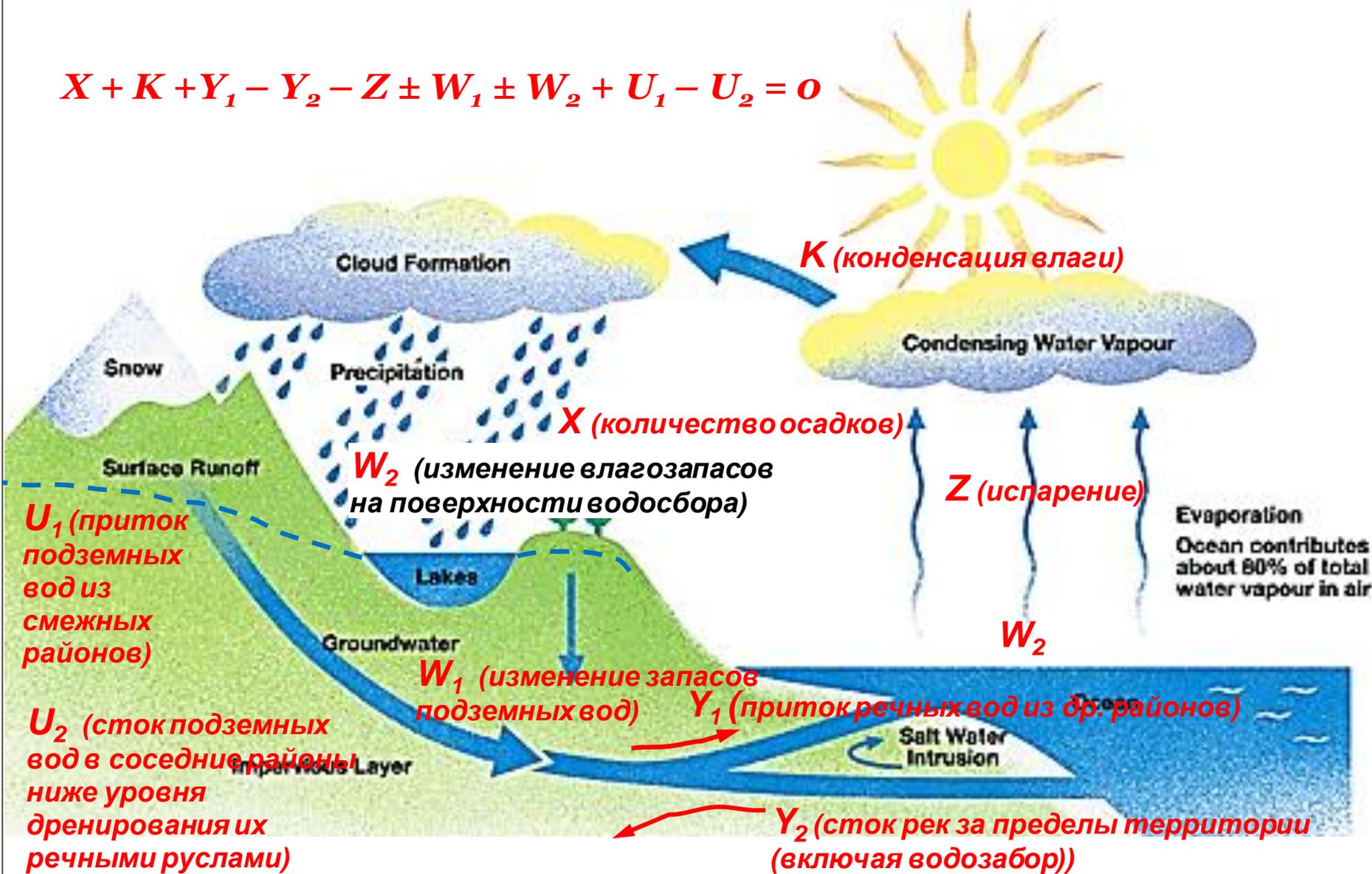
$$X + K + Y_1 - Y_2 - Z \pm W_1 \pm W_2 + U_1 - U_2 = 0$$

НО!!!! на практике для расчета среднегогодового баланса используют:

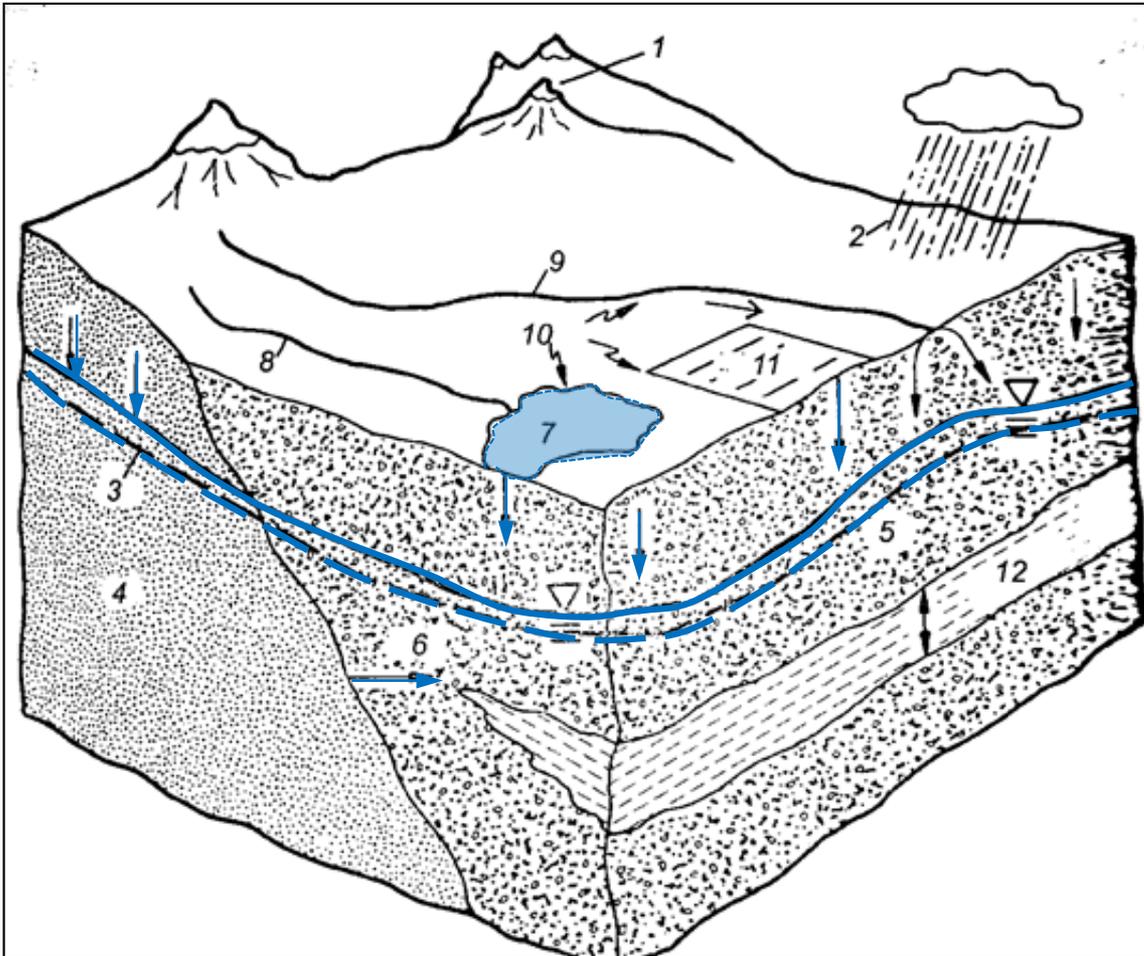
$$X + Y_1 - Y_2 - Z + U_1 - U_2 = 0$$

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНОГО БАЛАНСА ТЕРРИТОРИИ

$$X + K + Y_1 - Y_2 - Z \pm W_1 \pm W_2 + U_1 - U_2 = 0$$



Концептуальная модель формирования подземного стока (по Стифенсу Д.В., 1996)



- 1 — горные области питания;
- 2 — рассеянное питание;
- 3 — уровень подземных вод;
- 4 — граниты трещиноватые;
- 5 — песчаные отложения;
- 6 — направление подземного стока;
- 7 — плейя;
- 8 — временный водоток;
- 9 — постоянный водоток;
- 10 — места локального питания;
- 11 — участки ирригации;
- 12 — глинистые пропластки

2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ ВОДЫ

В отличие от климатического обусловлен **непрерывным движением отдельных ее участков в вертикальном и горизонтальном направлениях** в связи с общей тектонической жизнью Земли.

Этапы:

- **седиментационный** – захоронение осадков на большие глубины, происходит в условиях отжатия воды из захороняющихся горных пород, т.е. в условиях **элизионного режима**
- **метаморфогенный** – при попадании осадочных толщ в зону прогрессивного метаморфизма происходит перекристаллизация пород, что приводит к **выделению в свободную фазу поровых, кристаллизационных и конституционных вод, входящих в состав глинистых минералов**
- **магматогенный** – связан с внедрением магматических очагов в верхние горизонты литосферы и проявлением вулканизма

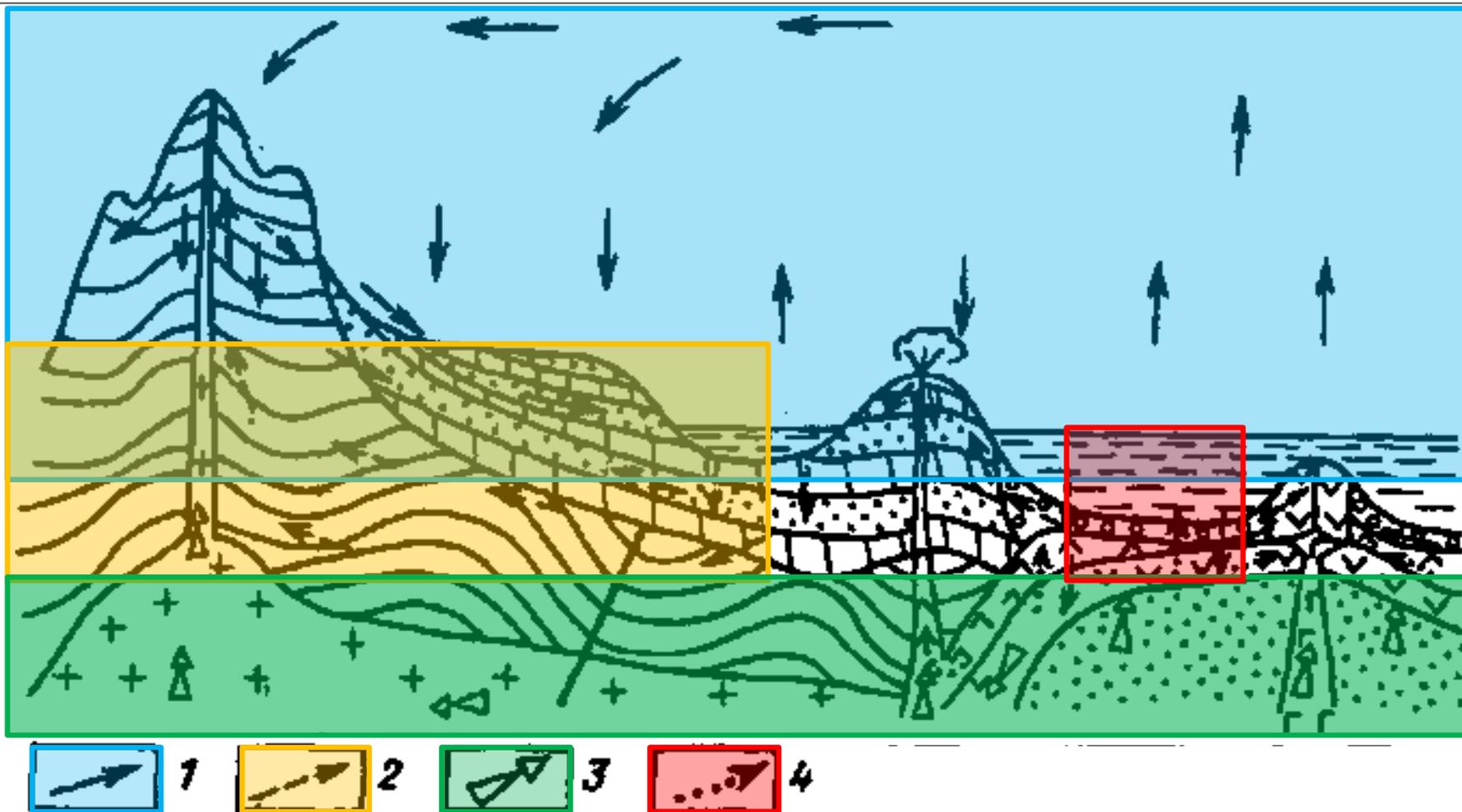
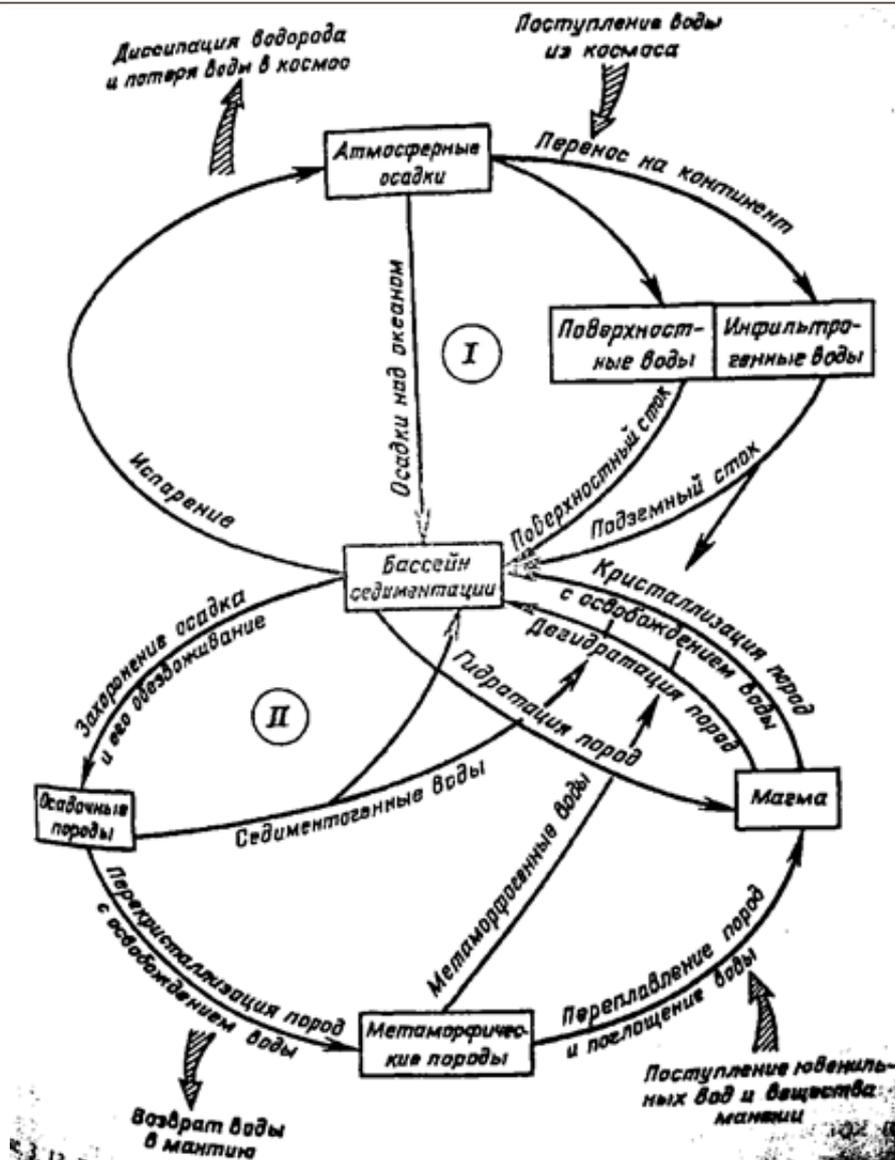


Схема взаимодействия круговоротов воды

1 — климатический, 2 — геологический, 3 — мантийный,
4 — мантийно-океанический



Взаимодействие климатического и (I) и геологического (II) круговоротов воды (по С.Л. Шварцеву)

ИНТЕНСИВНОСТЬ ВОДООБМЕНА

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ ВОД (по Е.В. Пиннекеру)

Круговорот воды	Генетическая группа подземных вод	Генетический тип
Климатический	1. Метеорные 	Инфильтрационные
		Конденсационные
Геологический	2. Седиментационные (седиментогенные) 	Погребенные
		Элизионные
		Возрожденные
Мантийный	3. Ювенильные 	Магматогенные
		Интрателлурические (сквозьмагматические)
Мантийно-океанический	4. Талассогенные 	Литификационные
		Рифтогенные
		Субдукционные

1. **Метеорные** воды по механизму проникновения в земные недра разделяются на:

• **Инфильтрационные** — проникают путем свободного течения (инфильтрации) жидкой воды по свободным порам,

• **Конденсационные** — проникают в форме водяного пара, а в порах горных пород - путем конденсации, образуя жидкую фазу.

Инфильтрационные воды резко доминируют над конденсационными и составляют основу всех вод **метеорного происхождения**.

Метеогенные воды **широко развиты в зоне активного водообмена** (пресная вода в колодцах, неглубоких скважинах, родниках).

Эти воды:

- питают реки, озера
- используются корнями растений
- формируют родники

Эти же воды, проникая на большие глубины, нагреваются и в горных районах формируют **родники горячих (термальных) вод**.

2. Седиментационные (погребенные, захороненные морские, в зарубежных странах - формационные (*formation water*)) воды формируются в процессе седиментации или образования осадочных пород.

- **Погребенные** – свободные воды, которые, находясь в порах горных пород с момента формирования донного осадка, опустились на некоторую глубину и образовали водоносный горизонт.
- **Элизионные** (элизия – выдавливание) – это физически связанные с осадком воды, находящемся на дне водоема, которые переместились на некоторую глубину и перешли в свободное состояние. Преобладают в осадочных бассейнах морского генезиса.
- **Возрожденные** воды — это воды перенесенные на большую глубину кристаллической решеткой в форме конституционных, кристаллизационных или цеолитных и перешли в свободное состояние в результате разрушения структуры минерала.

Широко распространены:

1. В нижних горизонтах артезианских бассейнов платформенного типа (сталкиваются нефтяники)
2. На дне морей и океанов, где они заполняют все осадочные образования, развитые в структурах впадин и прогибов, и донные (иловые) осадки.
3. В горно-складчатых областях, особенно молодого возраста (Кавказ)
4. Реже в кристаллических породах щитов, куда они проникли под давлением со стороны платформенных образований.

3. Ювенильные воды (Эдуард Зюсс) — подземные воды, образующиеся за счет выделения водяных паров из магмы, которые, концентрируясь в более холодных верхних сферах, поднимаются по глубоким тектоническим зонам и разломам, а затем, растекаются в осадочных породах

- **Магматогенные** — поступившие в земную кору вместе с магмой и выделившиеся из при ее остывании
- **Интрателлурические** — образовавшиеся в результате дегазации вещества мантии и поступающие в земную кору по зонам глубинных разломов или рифтовым зонам срединно-океанических хребтов

Распространены:

- в районах активного вулканизма (Япония)
- в рифтовых зонах континентов и океанов

4. Талассогенные воды образуются за счет океанической воды в процессе мантийно-океанического круговорота и связаны с движением литосферных плит.

Проникают в глубокие горизонты путем сложных перетоков при изменении в отдельных зонах океанического дна давления, удельного веса воды при нагревании, газонасыщении и т.д. Значительная часть воды захоронена вместе с донными осадками (иловые воды). Однако основная часть воды формируется в процессе движения литосферных плит. В опускающихся блоках происходит освобождение физически связанных вод и дегидратация минералов, т.е. возникает поток воды снизу вверх.

- **Литификационные воды** – воды, формирующиеся путем проникновения океанической воды в поднимающиеся блоки горных пород, в следствии их разуплотнения и уменьшения литостатического давления.
- **Рифтогенные воды** – воды, формирующиеся в зонах крупных разломов рифтовых структур срединно-океанических хребтов.
- **Субдукционные воды** – подземные воды, формирование которых связано с зонами субдукции.

Зоны субдукции – линейные зоны, вдоль которых происходит погружение одной литосферной плиты под другую.

