

# 1. ПРЕДМЕТ, ЗАДАЧИ И СОДЕРЖАНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИИ

- "Гидрогеология имеет предметом изучения подземные воды, их происхождение, условия их залегания, движения, свойства и условия, определяющие те или иные технические мероприятия по использованию подземных вод, регулированию их или удалению"

Ф.П. Саваренский, 1933

# Значение подземных вод

- "Вода, образующая сплошь одну из земных геосфер -- гидросферу, определяет всю химию земной коры в доступной нашему непосредственному изучению ее области. Химические реакции идут главным образом в водных растворах, жидких или парообразных, и свойства растворов обуславливают в главной мере генезис вадозных и фреатических минералов. Они же определяют среду жизни."

В.И.Вернадский

# Исключительная роль воды

Ее участие во всех геохимических процессах, которые происходят в земной коре:

- магматических,
- метаморфических
- гидротермальных,
- гипергенных
- седиментационных
- образовании минералов или их разрушении в результате взаимодействия сложных природных растворов с горными породами

# Подземные воды - «наиболее драгоценное ископаемое»

академик А.П.

## Карпинский

- для питья и хозяйственных целей городов и сельских поселений
- для сельскохозяйственного водоснабжения
- (животноводческих и птицеводческих комплексов, полива с/х полей)
- для технического водоснабжения промышленных объектов
- для обеспечения систем ППД на нефтепромыслах
- для лечения и теплоснабжения
- для извлечения полезных компонентов из подземных вод и др.

# Использование подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения

- Доля подземных вод в общем балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения составляет более 70%; в Болгарии, Италии, Португалии, Словакии, ФРГ и Чехии - от 50 до 70%.
- На подземных водах основано водоснабжение крупных городов Европы: Будапешт, Вена, Гамбург, Копенгаген, Мюнхен, Рим и др.
- Дания, Мальта, Саудовская Аравия, Кувейт-страны, где подземные воды являются единственным источником водоснабжения.

# Подземное водоснабжение в России и СНГ

- Преимущественно подземными водами удовлетворяется потребность в воде питьевого качества таких крупных городов, как:
- Красноярск, Новокузнецк, Томск, Чита, Вильнюс, Алма-Ата, Баку, Ереван, Киев, Минск, Тбилиси, Ташкент, Харьков, Ашхабад.
- В Тюменской области, ХМАО и ЯНАО подземные воды используются с 60-70 –х годов 20 века:
- Тюмень, Тобольск, Хвнты-Мансийск, Сургут, Нефтеюганск, Когалым, Радужный, Ноябрьск, Уренгой, Надым, Салехард, поселки и нефтяные и газовые промыслы, другие объекты.

# Ресурсы пресных подземных вод

- Составляют в нашей стране  $340 \text{ км}^3$  в год. По данным Л.С. Язвина, в 2001 г. использовалось  $7,8 \text{ км}^3$  в год или  $21,4 \text{ млн. м}^3$  в сутки.
- Государственным Центром “Геомониторинг” в России на 1.01.2007 г. учтены прогнозные ресурсы подземных вод в количестве  $869,1 \text{ млн куб.м/сут}$  ( $317,2 \text{ куб.км/год}$ ). По результатам оценки обеспеченности населения ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения, которая выполнена в 1994-2000 гг. организациями Министерства природных ресурсов России, общая величина прогнозных ресурсов составляет около  $1100 \text{ млн куб.м/сут}$  ( $350 \text{ куб.км/год}$ ).

# Из промышленных подземных вод добывают

бор,  
натрий, магний,  
литий,  
хлор,  
бром,  
йод

в меньших объемах добывают:

германий, рубидий, стронций, кальций,  
цезий.



# Термальные воды

- В 40 странах мира функционируют ГеоТЭС, преобразующие тепловую энергию подземных вод в электрическую.
- Суммарная мощность в настоящее время достигла 10 тыс. МВт, для этого добывается 36 тыс. кг/с горячего пара.
- В России ГеоТЭС построены на Камчатке. Паужетская ГеоТЭС эксплуатируется с 1966 г., и ее мощность равна 5 МВт. Мощность Мутновской ГеоТЭС мощностью 62 МВт.

# Методология

1. ПВ являются геологическим объектом, их изучение должно проводиться в комплексе с исследованием горных пород, структур земной коры, их строением и развитием, геологических процессов в коре и мантии.



Неразрывная связь с геологией, геохимией, минералогией, физикой, химией и другими науками

# Методология

2. ПВ – часть гидросферы Земли, гидросфера Земли едина и неделима(реки, озера, болота, моря, океаны) взаимосвязаны.



Необходимо изучать водообмен атмосферных, поверхностных и подземных вод, что определяет тесную связь гидрогеологии с метеорологией, гидрологией, океанологией.

# Методология

3. ПВ хар-ся важнейшим свойством – подвижностью в жидком и газообразном состоянии. Их количество и формы движения изучаются геофизическими и лабораторными исследованиями, широко используются расчетные методы и моделирование.



Связь гидрогеологии с математическими методами обработки информации, гидравликой, термодинамикой


# Методология

4. ПВ – сложные литосферные растворы, содержащие минеральные и органические, комплексные соединения, газы, микроорганизмы.



Изучение химической природы подземных вод, условий и закономерностей формирования требует знаний физической и коллоидной, органической химии и биохимии, микробиологии.

# Методология

- Разнообразие ПВ обеспечивает ее использование человеком. С этим связана роль гидрогеологии как прикладной науки, связанной с решением конкретных задач
- 
- Для решения этих задач на современном этапе требуются фундаментальные теоретические разработки с целью рационального использования ПВ, разработкой долгосрочных прогнозов, задач управления подземной гидросферой.
  - Остаются актуальными проблемы гидрогеологии по изучению процессов формирования подземных вод, их количества и качества

# Теоретические разделы гидрогеологии

- Региональная гидрогеология
- Гидрогеодинамика
- Гидрогеохимия
- Гидрогеотермия
- Палеогидрогеология

В соответствии с этим, используя представления Н.И. Плотникова (1976), Е.В. Пиннекера (1983), В.М. Шестакова (1983) и других авторов, могут быть выделены следующие теоретические разделы гидрогеологии: 1) *региональная гидрогеология* — закономерности распространения подземных вод в земной коре, типы гидрогеологических структур, формирование различных типов подземных вод; 2) *гидрогеодинамика* — исследование законов движения подземных вод, закономерностей формирования их гидродинамического режима и ресурсов; 3) *гидрогеохимия* — исследование законов миграции химических элементов в подземной гидросфере и процессов формирования химического состава подземных вод; 4) *гидрогеотермия* — исследование термических свойств и процессов теплопереноса с подземными водами; 5) *палеогидрогеология* — происхождение и история развития подземной гидросферы, исследование роли подземных вод в геологических процессах.

# Прикладные разделы гидрогеологии

- Оценка ресурсов и запасов ПВ
- Гидрогеология месторождений полезных ископаемых
- Мелиоративная гидрогеология
- Инженерная гидрогеология
- Экологическая гидрогеология
- Мониторинг ПВ

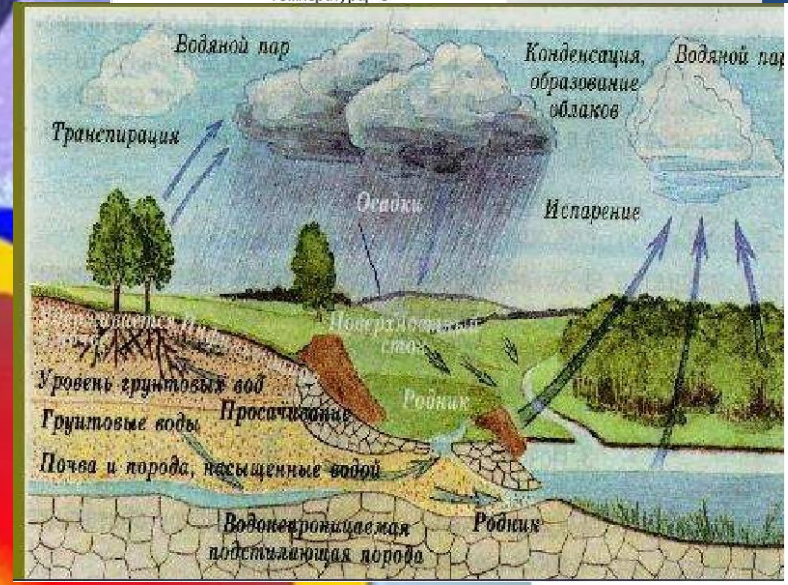
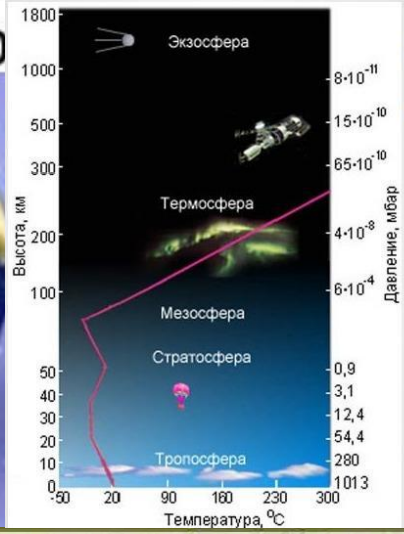
В прикладные разделы могут быть включены: 1) *оценка ресурсов подземных вод* — типы месторождений подземных вод, условия формирования и методы оценки ресурсов подземных вод разного типа; 2) *гидрогеология месторождений полезных ископаемых* — гидрогеологические методы поисков месторождений полезных ископаемых, гидрогеологическое обоснование шахтного строительства и условий эксплуатации месторождений разного типа; 3) *мелиоративная гидрогеология* — гидрогеологические исследования при проектировании мелиоративных систем, оптимизация водно-солевого режима мелиорируемых земель; 4) *инженерная гидрогеология* — гидрогеологические изыскания при проектировании и строительстве инженерных сооружений различного типа; 5) *экологическая гидрогеология* — охрана подземных вод, гидрогеологические аспекты охраны природной (геологической) среды; 6) *мониторинг* подземных водных объектов — систематические (многолетние) наблюдения за состоянием и изменением режима и баланса подземных вод, их состава и качества.



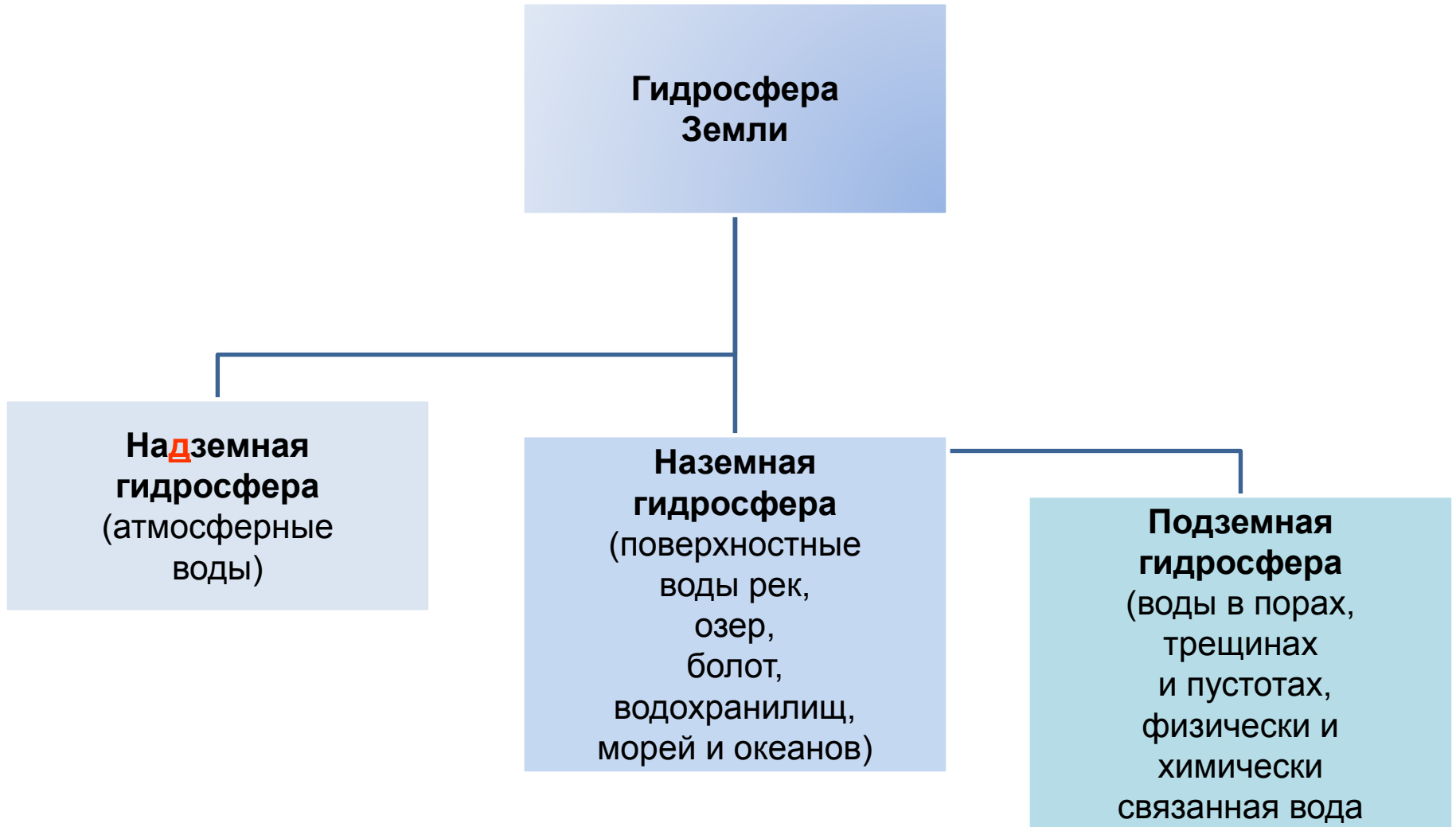
## 2. Формирование подземной гидросферы

- Под гидросферой понимают водную оболочку, объединяющую все природные воды Земли.
- Одним из главных свойств гидросферы является ее постоянное проникновение в другие земные оболочки.
- Выделяют:
- **надземную** гидросферу, пронизывающую всю атмосферу,
- **наземную**, объединяющую совокупность поверхностных вод Земли, и
- **подземную**, располагающуюся ниже поверхности Земли, дна водоемов и водотоков.

# Развитие Земли и формирование ее внутренних и внешних оболочек



# Гидросфера Земли



# Границы гидросферы

- Распространение воды во всех оболочках Земли (мантии, земной коре, биосфере, на поверхности) позволяют раздвинуть границы гидросферы до высот в 16-18 км (вода в виде молекул) и в глубину на сотни километров (вода в виде ионов, атомов Н и О).
- Основными внутренними процессами гидросферы являются **круговороты и водообмен**, происходящие на различных уровнях и в разных масштабах.

# Объем гидросферы Земли

- По данным Гавриленко, Дерпгольца (1974) общий объем гидросферы Земли составляет около 2,500 млрд. км<sup>3</sup>. По расчетам А. Полдерварта и В.Ф. Дерпгольца в земной коре до 35 км на континентах и 4,7 км под океанами - 1,1 млрд. км<sup>3</sup>

Объем гидросферы Земли (Р.К. Клуге и др., 1998)

| Элементы гидросферы           | Объем, тыс. км <sup>3</sup> | Доля запасов, % |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Мировой океан                 | 1 476 000                   | 94,32           |
| Подземные воды                | 60 000                      | 3,83            |
| Ледники и мерзлота            | 30 000                      | 1,92            |
| Озера, водохранилища и болота | 290                         | 0,02            |
| Почвенная влага               | 16                          | 0,001           |
| Воды рек                      | 2                           | 0,0001          |
| Влага атмосферы               | 14                          | 0,0008          |

# Объем гидросферы (по М.И.Львовичу)

| <b>Виды воды</b>              | <b>Объем воды, тыс.км<sup>3</sup></b> | <b>Доля, %</b> |
|-------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| <b>Мировой океан</b>          | <b>1370323</b>                        | <b>93</b>      |
| <b>Подземные воды</b>         | <b>60000</b>                          | <b>4,12</b>    |
| <b>Ледники</b>                | <b>24000</b>                          | <b>1,65</b>    |
| <b>Озера</b>                  | <b>280</b>                            | <b>0,019</b>   |
| <b>Почвенная влага</b>        | <b>85</b>                             | <b>0,006</b>   |
| <b>Атмосферная влага(пар)</b> | <b>14</b>                             | <b>0,001</b>   |
| <b>Речные воды</b>            | <b>1,2</b>                            | <b>0,0001</b>  |

# Ювенильные воды

- Формирование гидросферы в настоящее время связывают с процессами плавления и необратимой дегазации вещества мантии, с так называемым «зонным плавлением». По А.П.Виноградову в мантии содержится примерно  $20 \cdot 10^8$  т. воды, причем 7,5 – 24% этого количества мигрировало в земную кору и Мировой океан, т.е. участвовало в создании гидросферы.
- Вода, образующаяся из летучих компонентов магмы, называется **ювенильной**. Основная масса ювенильной воды образовалась в архее (90% по П.Н. Кропоткину). По другим данным (Руби, Мияки) процессы дегазации протекают с одинаковой скоростью до настоящего времени, объем образовавшейся воды -  $0,5 \text{ км}^3/\text{год}$ .

# Другие источники воды на Земле

- Поступление воды из космоса с астероидами (до 100 тыс. км<sup>3</sup> по В.Ф. Дерпгольцу, т.е. менее 0,005% от современного объема гидросферы)
- Синтез молекул воды из атомов Н и О в верхних слоях атмосферы (230-250 км). Однако, по данным Е.В.Пиннекера (1980) одновременно идет диссипация атомов водорода в космическое пространство.
- Т.о., мантия – практически единственный источник воды на Земле



# ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОСФЕРЫ

- 1. Эволюция гидросферы началась на рубеже архея – протерозоя, когда установилось динамическое равновесие между водой и газами. В это же время образовался гранитный слой, обособились геосинклинали и платформы, возникли континентальные моря. Все это положило **начало атмосфере и регулярному круговороту воды.**
- По А.П. Виноградову летучие вещества стали источником ионов солевой массы океанической воды, а все главные катионы образовались при разрушении горных пород.
- На раннем этапе в гидросфере почти не было кислорода, а были  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCl}$  и др.

- 2. Примерно 2,0 – 2,7 млрд. лет назад произошла **смена восстановительных условий** в атмосфере и на поверхности Земли **на окислительные**, причем источником  $O_2$ , явились фотохимические реакции с  $H_2O$  и  $CO_2$  в верхних слоях атмосферы.

# Возникновение жизни

- 3. В связи с интенсивными космической и ультрафиолетовой радиацией **образовались сложные органические соединения** из  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и др., и на их базе на определенной глубине в океане (под экраном слоя воды) развивались **простейшие организмы**.
- Восстановление  $\text{H}_2\text{O}$  в процессе жизнедеятельности организмов привело к **освобождению свободного кислорода**, что **явилось началом формирования современной атмосферы и озонового экрана**, и жизнь смогла развиваться на **суше**.

# Стабильность состава океанических вод

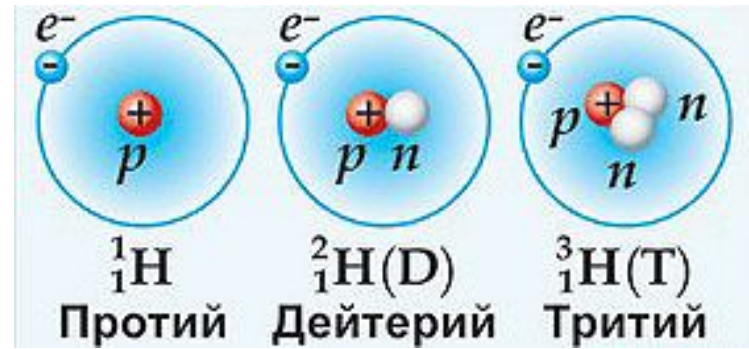
- 4. В раннем палеозое сформировалось  $\text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$  равновесие, которое обеспечило стабильность состава вод океана.
- С появлением жизни на Земле изменились процессы выветривания в сторону усиления под влиянием  $\text{CO}_2$ .
- В результате фотосинтеза кислород в атмосфере в настоящее время возобновляется за 2 – 3 тыс. лет, а углекислота за 350 – 500 лет (без учета современного парникового эффекта)
- Вся вода Мирового океана проходит через фотосинтезирующие растения за несколько миллионов лет.

# SMOW (Standart middle ocean water)

- Относительно состава вод Мирового океана существуют неоднозначные мнения. Одни считают, что он сформировался в раннем палеозое. Другие являются сторонниками значительных изменений состава даже за последние 0,5 -0,6 млрд. лет.
- Например, Ю.П. Казанский установил 5 гидрогеологических типов океанических вод в процессе эволюции гидросферы от архея до кайнозоя, а **современный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый состав появился в перми.**
- **Наряду с водообменом между мировым океаном и подземной гидросферой происходил и происходит солеобмен.**
- Состав Мирового океана отражает условия предыдущих эпох, за счет огромных водных масс, слабо реагирующих на воздействие извне.
- **Не меняется изотопное отношение  $N^2/N^1$  и  $O^{18}/O^{16}$  за 300 – 500 млн. лет. Это постоянство используется в качестве стандарта среднеокеанической воды)**

|                 | Среднеокеанической | Средней морской |
|-----------------|--------------------|-----------------|
| Хлориды         | 88,7               | 5,2             |
| Сульфаты        | 10,8               | 9,9             |
| Карбонаты       | 0,3                | 60,1            |
| Прочие вещества | 0,2                | 24,8            |

# *SMOW*

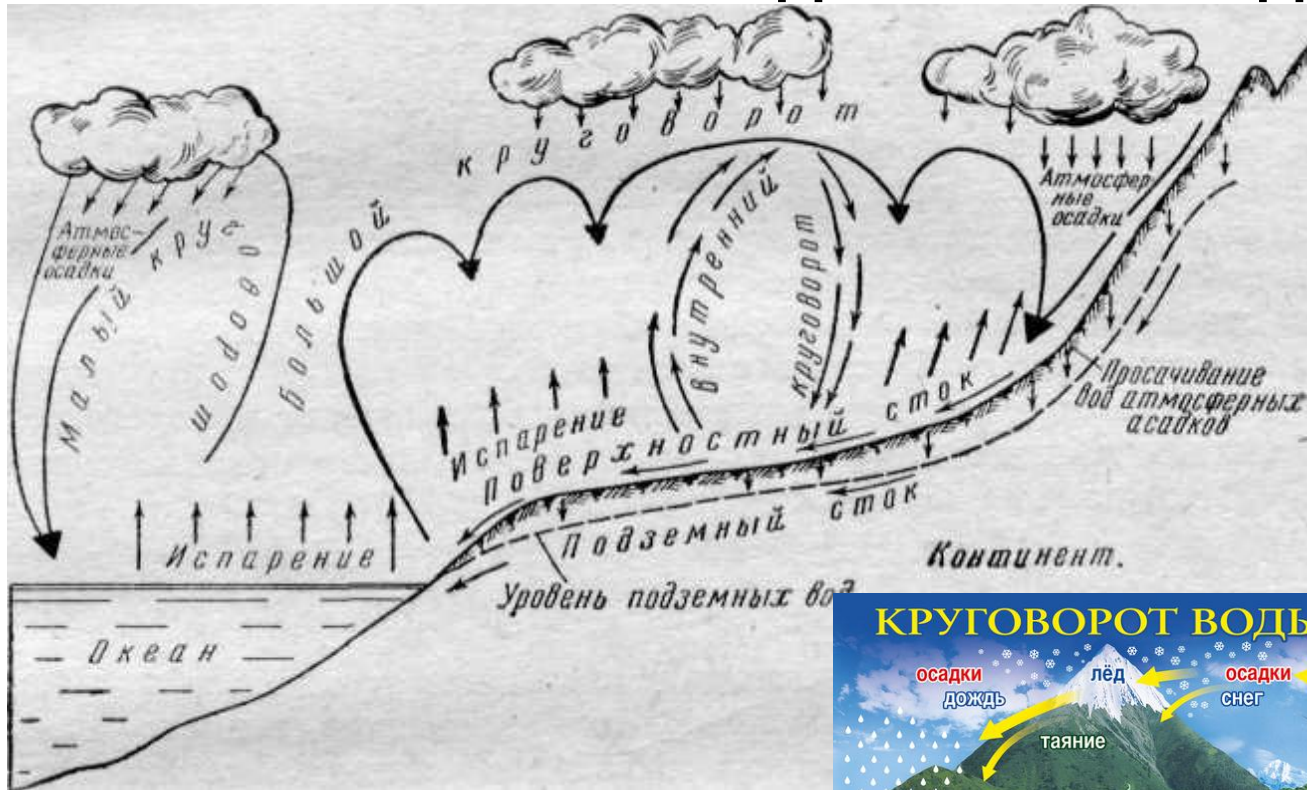


- Изотопные соотношения *SMOW* воды определяются следующим образом:
- ${}^2\text{H} / {}^1\text{H} = 155,76 \pm 0,1$  частей на миллион
- ${}^3\text{H} / {}^1\text{H} = 1,85 \pm 0,36 \times 10^{-11}$  частей на миллион
- ${}^{18}\text{O} / {}^{16}\text{O} = 2005,20 \pm 0,43$  частей на миллион
- ${}^{17}\text{O} / {}^{16}\text{O} = 379,9 \pm 1,6$  частей на миллион

# Образование пресной воды

- 5. Образование пресной воды на Земле.
- **Основными факторами появления пресной воды на Земле являются:**
- возникновение жизни на Земле,
- образование современной атмосферы,
- расчленение земной коры на платформы и геосинклинали,
- Все это привело к возникновению **большого гидрологического круговорота воды** (2,5 – 3,0 млрд. лет),
- к формированию **пресных подземных вод**, образовавшихся из атмосферных осадков.

# ОБЩИЙ (климатический или гидрологический) КРУГОВОРОТ ВОДЫ В ПРИРОДЕ





# Схемы круговоротов

В общей схеме выделяют несколько круговоротов воды:

- **Большой** (внешний)

При большом круговороте часть водяных паров, образовавшихся в результате испарения воды океанов и морей, переносится на сушу, где выпадает в виде осадков, некоторое количество из которых вновь стекает в моря и океаны в виде поверхностного и подземного стоков

- **Малый**

В процессе малого круговорота часть испарившейся с поверхности океанов и морей влаги выпадает здесь же в виде осадков.

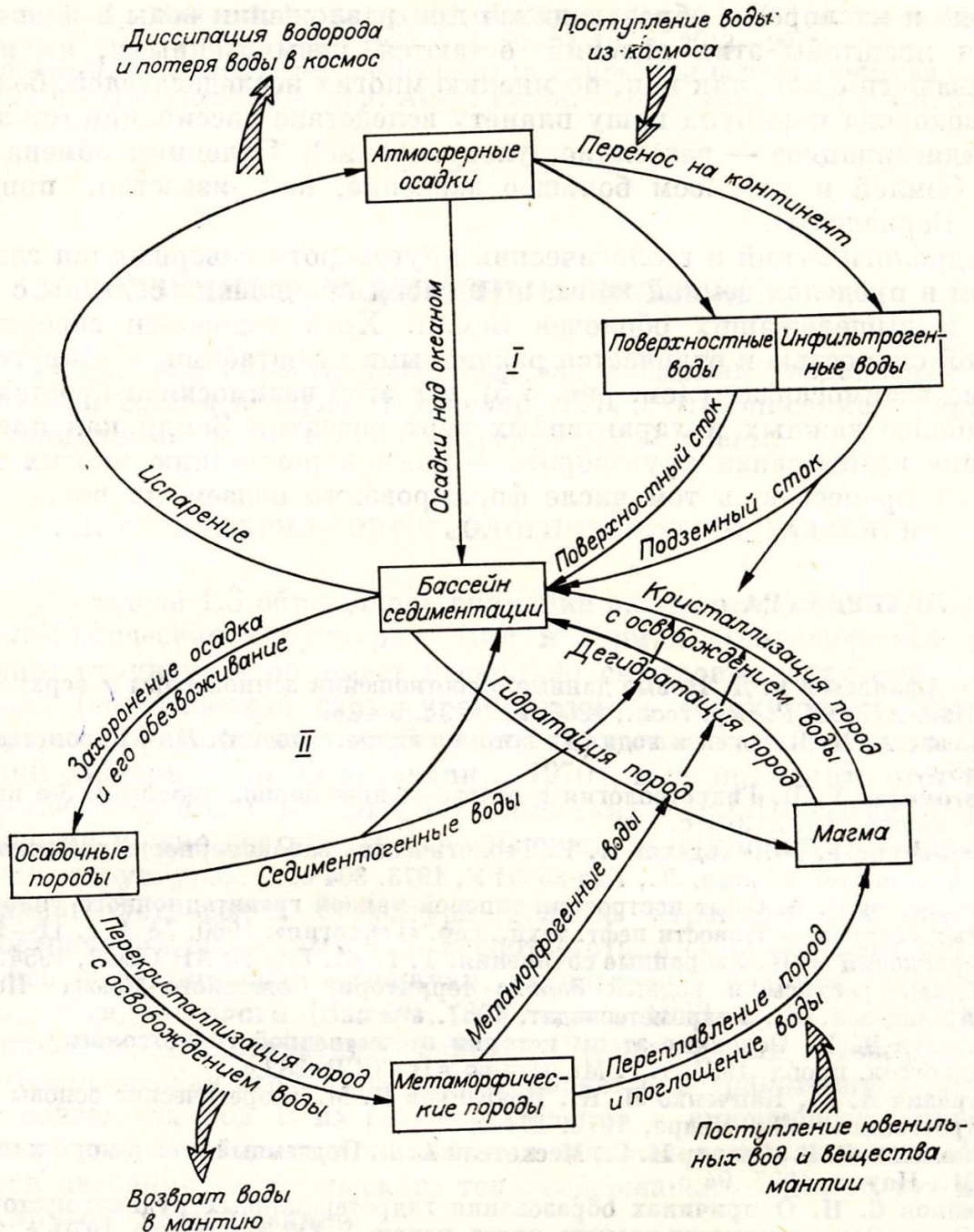
- **Внутренний** круговорот обеспечивается водой, которая испаряется в пределах материков — с водной поверхности рек и озер, с суши и растительности и там же выпадает в виде осадков. Эти осадки снова расходуются на сток и испарение, причем часть испарившейся влаги вновь выпадает на материке

# Числовые значения элементов круговорота воды земного шара (по М.И. Львовичу)

| Область            | Площадь<br>млн.км <sup>2</sup> | Элементы круговорота   | Годовой объем тыс.км <sup>3</sup> |
|--------------------|--------------------------------|--|-----------------------------------|
| Мировой океан      | 361,45                         | Осадки <i>О<sub>м</sub></i><br>Приток речных вод <i>С</i><br>Испарение <i>И<sub>м</sub></i>                      | 411,6+36,38 = 447,98              |
| Суша со стоком     | 117,5                          | Испарение <i>И<sub>с</sub></i><br>Речной сток <i>С</i><br>Осадки <i>О<sub>с</sub></i>                            | 64,62+36,38=101                   |
| Бессточные области | 31,12                          | Испарение <i>И<sub>б.о.</sub></i><br>Осадки <i>Об.о.</i>   | 7,4<br>7,4                        |
| Весь земной шар    | 510,08                         | Испарение <i>И<sub>м</sub>+И<sub>с</sub>+И<sub>б.о.</sub></i><br>Осадки <i>О<sub>м</sub>+О<sub>с</sub>+Об.о.</i> | 520,0<br>520,0                    |

# Геологический круговорот

- В отличие от гидрологического круговорота воды, совершаемого в приповерхностной части Земли и характеризующегося геологически мгновенным временем, **геологический круговорот обусловлен непрерывным движением земной коры в вертикальном и горизонтальном направлениях.** Он совершается в более глубоких оболочках земной коры и верхней мантии в различных термодинамических зонах.
- Выделяют основные этапы геологического круговорота: **седиментационный,**
- **метаморфический,**
- **магматический и**
- **инфильтрационный**

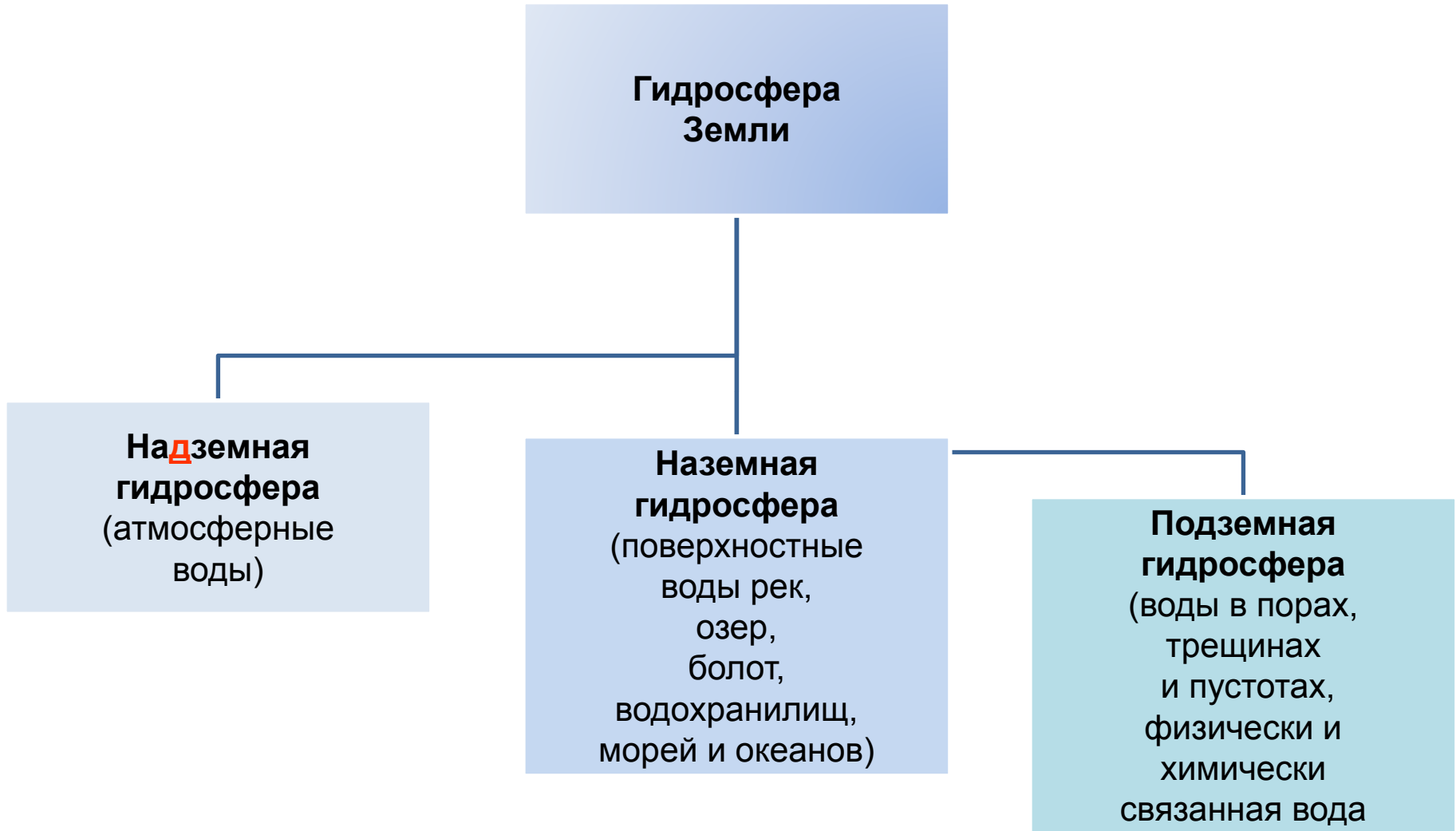


Взаимосвязь гидрологического (I) и геологического (II) круговоротов воды в земных недрах

# Геологическая форма движения ВОДЫ

- **Геологическая форма движения воды** – важнейшая составляющая геологической формы движения материи. Выделяют 3 разновидности геологической формы движения воды:
- **Метеогенная**
- **Литогенная**
- **Магматогенная**
- **Метеогенная** характерна для приповерхностной части земной коры. Она характеризуется свободной фильтрацией воды за счет разности гидростатических напоров с подчиненным значением других видов движений. Пластовые давления находятся в пределах условного гидростатического.
- **Литогенная** связана с переносом воды в процессе литогенеза осадочных пород. Важными процессами здесь являются отжатие части воды при уплотнении осадков, связывание воды горными породами и последующее ее возрождение при их перекристаллизации. Пластовые давления обычно выше гидростатических. Такая форма движения имеет место в субмаринных областях земной коры (бассейны осадконакопления) и нижних горизонтах осадочного чехла на глубинах не менее 1-3 км.
- **Магматогенная** – имеет место в глубоких частях подземной гидросферы и связана с воздействием высоких температур и давлений, отделением воды от магматического расплава или из метаморфизирующихся пород в условиях высокой газонасыщенности. Здесь формируются долгоживущие гидротермальные системы, содержащие жидкую воду, паро-водяную смесь и горячий пар.

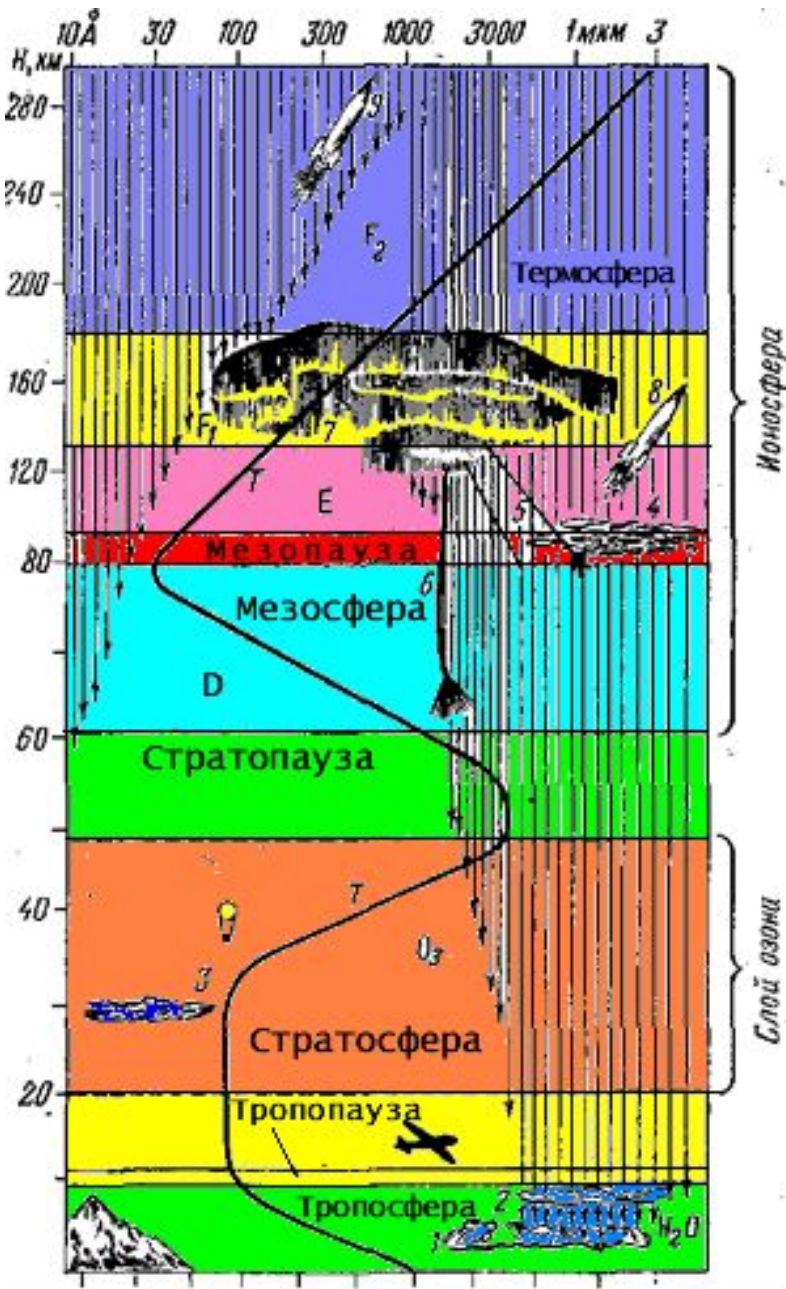
# Гидросфера Земли



# Атмосферные воды

## Надземная гидросфера.

- **Строение атмосферы.** Тропосфера расположена до высоты 10-11 км в умеренных широтах и до 17 км – у экватора. Температура с высотой падает. Выше располагается стратосфера. Температура в ней с высотой почти не меняется или незначительно повышается. Верхняя граница стратосферы составляет 80-90 км.



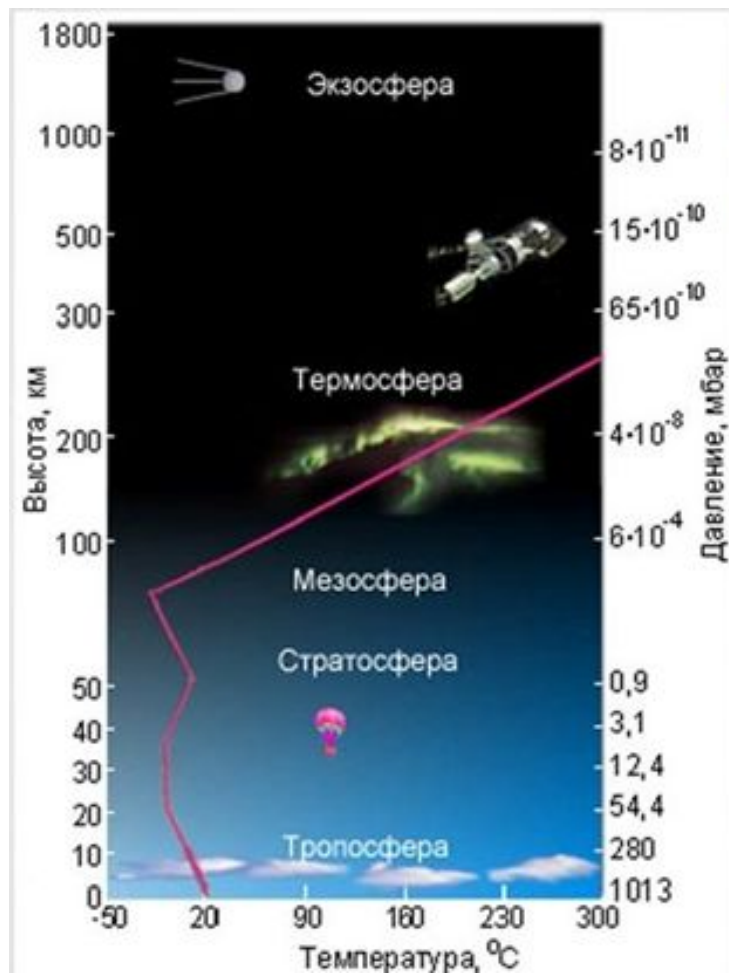
# Строение атмосферы

Атмосфера Земли делится на несколько областей в соответствии с изменением:

- температуры,
- химического состава,
- физического состояния и
- степени ионизации молекул и атомов воздуха.
- **Озоновый слой** находится на высоте 10–15 км, а его верхняя граница - около 50 км. Максимум концентрации молекул озона соответствует высоте около 25 км, однако, даже здесь имеется не более 5–10 молекул озона на миллион молекул воздуха.



# Строение атмосферы



Строение  
атмосферы

# ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТРОПОСФЕРЫ

| Высота, км | Температура в градусах |          | Давление,<br>мм<br>ртутного<br>столба | Плотность,<br>кг/м <sup>3</sup> | Скорость<br>звука,<br>м/сек |
|------------|------------------------|----------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
|            | по<br>Цельсию          | абсолют. |                                       |                                 |                             |
| 0          | +15,0                  | 288,0    | 760,00                                | 1,2255                          | 341                         |
| 1          | + 8,5                  | 280,5    | 674,09                                | 1,1120                          | 338                         |
| 2          | + 2,0                  | 275,0    | 596,23                                | 1,0068                          | 334                         |
| 3          | - 4, 5                 | 268,5    | 525, 79                               | 0,9094                          | 329                         |
| 4          | -11,0                  | 262,0    | 462, 26                               | 0,8193                          | 326                         |
| 5          | -17,5                  | 255,5    | 405,09                                | 0,7363                          | 321                         |
| 6          | - 24,0                 | 249,0    | 353,77                                | 0,6598                          | 317                         |
| 7          | - 30,5                 | 242,5    | 307,87                                | 0,5896                          | 313                         |
| 8          | - 37,0                 | 236,0    | 266,89                                | 0,5252                          | 308                         |
| 9          | - 43,5                 | 229,5    | 230,45                                | 0,4664                          | 305                         |
| 10         | - 50,0                 | 223,0    | 198,16                                | 0,4127                          | 301                         |
| 15         | - 55,0                 | 218,0    | 90,65                                 | 0,1931                          | 296                         |
| 20         | - 55,0                 | 218,0    | 41,41                                 | 0,8830                          | 296                         |

# ДАННЫЕ ОБ АТМОСФЕРЕ НА ВЫСОТАХ ОТ 20 ДО 120км

| Высот<br>а,<br>км | Температура в градусах |            | Давление<br>,<br>кг/м <sup>3</sup> | Плотност<br>ь,<br>кг/м <sup>3</sup> | Скорость<br>звука, м/сек | Средняя длина<br>свободного пробега, мм |                 |
|-------------------|------------------------|------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---|-----------------|
|                   | по Цельсию             | абсолютная |                                    |                                     |                          | НАКА                                    | Грим-<br>мингер |
| 20                | -55,0                  | 218,0      | 568,4                              | $8851 \cdot 10^{-5}$                | 296,0                    | 0,0011                                  | 0,001           |
| 25                | -55,0                  | 218,0      | 261,0                              | $4059 \cdot 10^{-5}$                | 296,0                    | 0,0022                                  | 0,003           |
| 30                | -55,0                  | 218,0      | 120,1                              | $1864 \cdot 10^{-5}$                | 296,0                    | 0,0047                                  | 0,006           |
| 35                | -33,0                  | 240,0      | 56,48                              | $795 \cdot 10^{-5}$                 | 310,6                    | 0,011                                   | 0,014           |
| 40                | +3,7                   | 276,7      | 29,35                              | $358 \cdot 10^{-5}$                 | 333,5                    | 0,024                                   | 0,03            |
| 45                | +40,3                  | 313,3      | 16,56                              | $178 \cdot 10^{-5}$                 | 354,9                    | 0,05                                    | 0,07            |
| 50                | +87,0                  | 350,0      | 9,970                              | $96 \cdot 10^{-5}$                  | 375,1                    | 0,09                                    | 0,11            |
| 55                | +87,0                  | 350,0      | 6,167                              | $59 \cdot 10^{-5}$                  | 375,1                    | 0,15                                    | 0,18            |
| 60                | +87,0                  | 350,0      | 3,820                              | $36,6 \cdot 10^{-5}$                | 375,1                    | 0,24                                    | 0,29            |
| 65                | +46,4                  | 319,4      | 2,315                              | $24,3 \cdot 10^{-5}$                | 358,3                    | 0,36                                    | 0,46            |
| 70                | +15,9                  | 288,9      | 1,335                              | $15,5 \cdot 10^{-5}$                | 340,7                    | 0,56                                    | 0,68            |
| 75                | -14,7                  | 258,3      | 0,725                              | $9,4 \cdot 10^{-5}$                 | 322,2                    | 0,92                                    | 1,06            |
| 80                | -33,0                  | 240,0      | 0,3675                             | $5,1 \cdot 10^{-5}$                 | 310,6                    | 1,68                                    | 2,2             |
| 85                | -25,7                  | 217,3      | 0,1877                             | $2,4 \cdot 10^{-5}$                 | 325,2                    | 3,39                                    | 4,2             |
| 90                | -7,5                   | 265,5      | 0,1029                             | $1,2 \cdot 10^{-5}$                 | 347,1                    | 6,64                                    | 8,0             |

# ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРХНИХ СЛОЕВ атмосферы

| Высота,<br>км | Температура, в градусах |                | Количество<br>молекул в 1<br>см <sup>3</sup> | Длина<br>свободног<br>о<br>пробега, м | Скорость<br>звука, м/сек |
|---------------|-------------------------|----------------|--|---------------------------------------|--------------------------|
|               | по Цельсию              | абсолют<br>ная |  |                                       |                          |
| 137,1         | +171,1                  | 444,1          | $3,44 \cdot 10^{12}$                         | 0,727                                 | 470                      |
| 152,4         | +232,5                  | 505,5          | $1,25 \cdot 10^{12}$                         | 2,000                                 | 502                      |
| 182,9         | +355,3                  | 628,3          | $2,30 \cdot 11^{11}$                         | 10,90                                 | Нет данных               |
| 228,6         | +539,4                  | 812,4          | $3,19 \cdot 10^{10}$                         | 78,60                                 | Нет данных               |
| 259,1         | +662,2                  | 935,2          | $1,09 \cdot 10^{10}$                         | 229,00                                | Нет данных               |
| 274,3         | +723,6                  | 996,6          | $6,75 \cdot 10^9$                            | 371,00                                | Нет данных               |
| 300,0         | +827,0                  | 1100,0         | $3,21 \cdot 10^9$                            | 779,00                                | Нет данных               |

# Состав атмосферного воздуха

- Атмосферный воздух у поверхности Земли представляет собой смесь газов, состоящую преимущественно из азота и кислорода. По объему  $N_2=78\%$ ,  $O_2=21\%$ . Кроме того, в небольшом количестве присутствуют **аргон (0,93%)**, **углекислый газ (0,03%)**, **водород**, инертные газы, а также водяной пар, следы аммиака, йода, перекиси водорода и др.

# Вода в атмосфере. Влажность воздуха

- Водяной пар обладает упругостью ( $E$ ), которая измеряется высотой уравновешенного ею ртутного столба. Количество пара, который в данный момент находится в воздухе – **абсолютная влажность ( $e$ )**.
- Отношение абсолютной влажности к упругости паров ( $E$ ), необходимой для насыщения того же пространства при той же  $t^0$  – **относительная влажность ( $e_1$ )**
- $e_1 = e/E$  или (в %)  $e_1 = e/E * 100$
- Упругость паров увеличивается с ростом  $t^0$  воздуха
- Абсолютная влажность увеличивается от полюса к экватору. Абсолютная и относительная влажности изменяются в обратных отношениях: первая достигает max в

# Испарение и транспирация

- Процесс превращения воды из жидкого состояния в парообразное – испарение.
- **Факторами, влияющими на испарение являются:**
  - температура на поверхности земли;
  - атмосферное давление;
  - дефицит влажности воздуха;
  - скорость ветра над поверхностью испарения;
  - размеры и формы водных поверхностей испарения, их географическое положение, характер рельефа местности

# Закон Дальтона

- По закону Дальтона, количество воды  $Q$ , испаряющейся в ед. времени с какой-либо поверхности, прямо пропорционально величине дефицита влажности  $d = E - e$  и величине испаряющей поверхности  $S$  и обратно пропорционально величине атмосферного давления  $P$ 
  - $Q = K * ((E - e) / P) * S$ ,
- где  $K$  - коэффициент пропорциональности



# Испаряемость и испарение

- **Испарение** ( $h$ , мм) – фактическая величина в данных условиях:
- $h = 0,0018(25+t)^2(100-z)$ , где  $z$  – относительная влажность воздуха, %
- $h = O(\text{осадки}) - C(\text{сток})$ , мм
- **Испаряемость** – максимально возможная величина при неограниченных запасах влаги (с поверхности океана)
- **Транспирация** – физиологическое испарение, связанное с питанием и ростом тканей растений.

# Расчет испарения

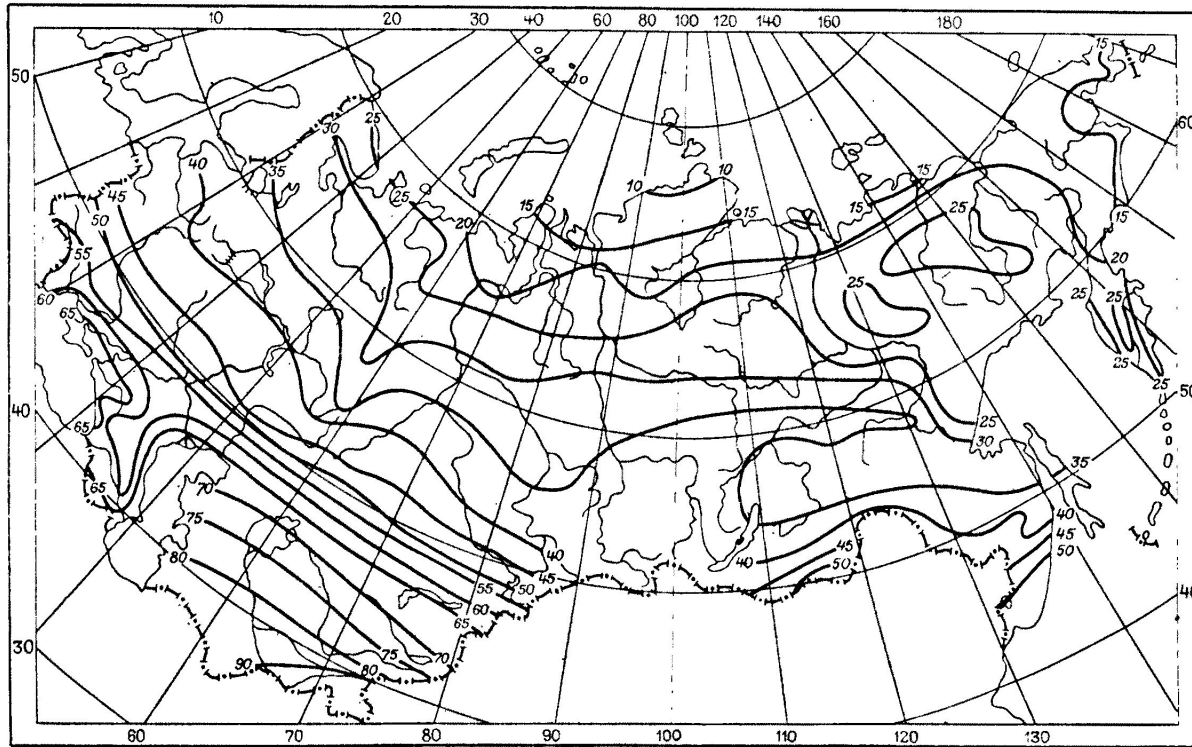


Рис. 28. Карта радиационного баланса СССР увлажненной поверхности, 41,9 МДж/м<sup>2</sup> (ккал/см<sup>2</sup>)

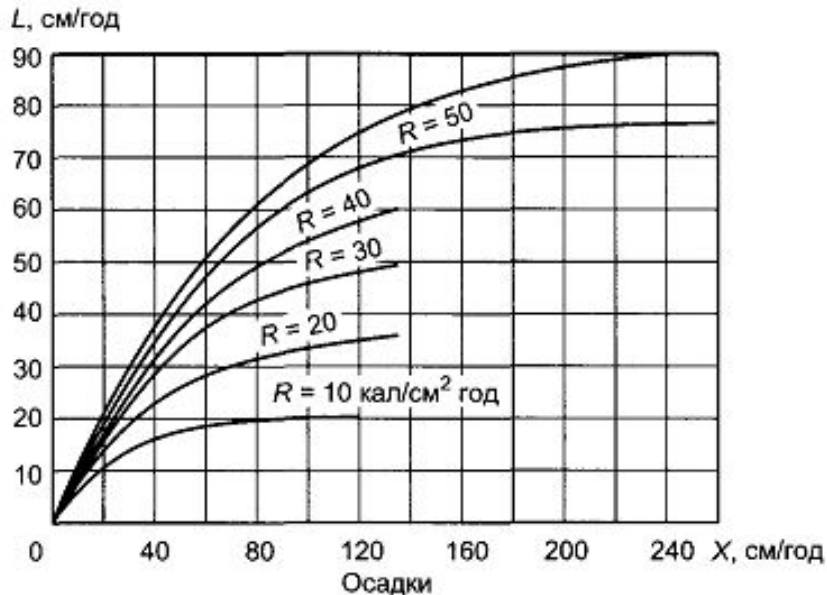
Среднее годовое испарение  $Z$  можно вычислить по уравнению связи М. И. Будыко [23]

$$Z = \sqrt{\frac{RX}{l} \left(1 - l^{-\frac{R}{Xl}}\right) th \frac{Xl}{R}}, \quad (3.2)$$

где  $X$  — годовая норма осадков;  $R$  — средний многолетний радиационный баланс для увлажненной поверхности;  $l$  — удельная теплота парообразования (скрытая теплота испарения). Величина  $R$  определяется по карте (рис. 28). В работе [23] приведена номограмма, составленная по уравнению (3.2).

Величина испарения может определяться по эмпирическим формулам и номограммам

# Расчет по номограмме



$$E = \frac{P}{\sqrt{0,9 + (P/L)^2}},$$

где  $E$  — норма годового суммарного испарения (мм/год);  
 $P$  — норма атмосферных осадков (мм/год);  $L = 300 + 25T + 0,05T^2$   
(Шестаков, Поздняков, 2003; Турс, 1961).

# Атмосферные осадки

- Переход водяного пара в жидкое состояние – **конденсация**.
- Переход в твердое состояние – **сублимация**. Эти процессы происходят как в атмосфере, так и на земной поверхности.
- Осадки, выделяющиеся непосредственно на земной поверхности – **низкие гидрометы**.
- Осадки, возникающие в атмосфере и выпадающие из облаков – **высокие гидрометы**.

# Виды осадков



**низкие  
гидрометы:** роса,  
иней, гололед,  
изморозь

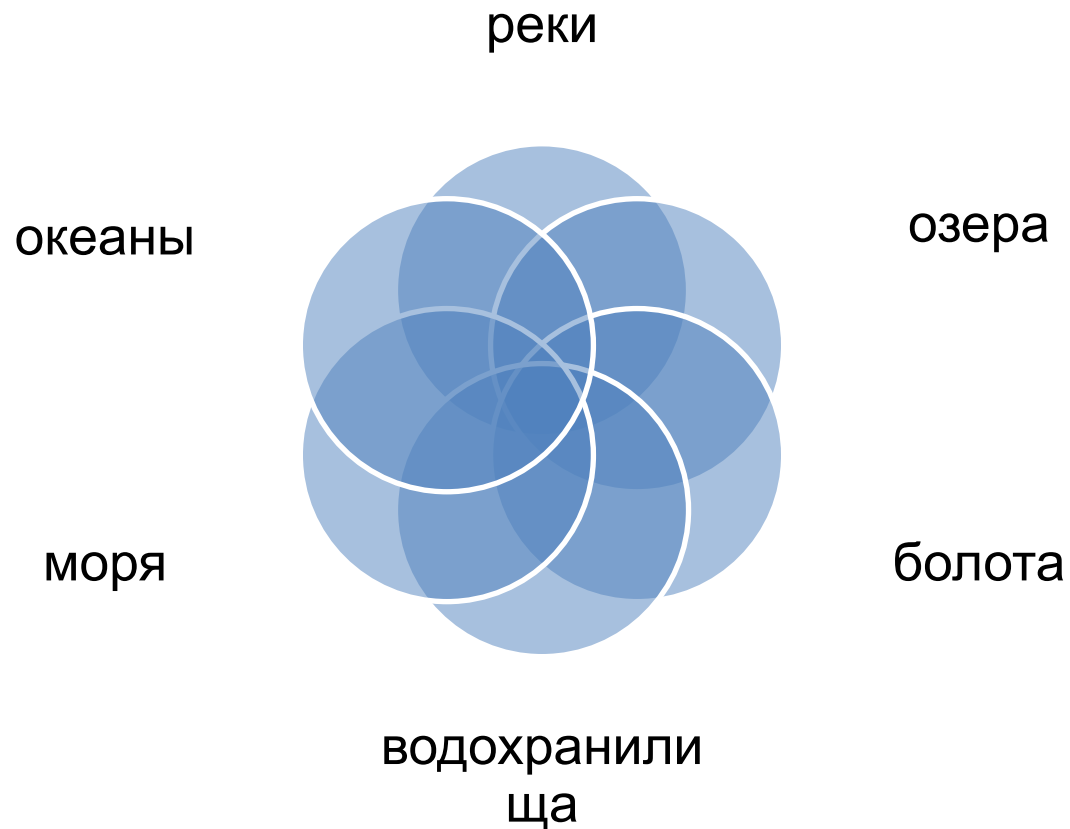


**высокие  
гидрометы:**  
дождь, морось, снег,  
град



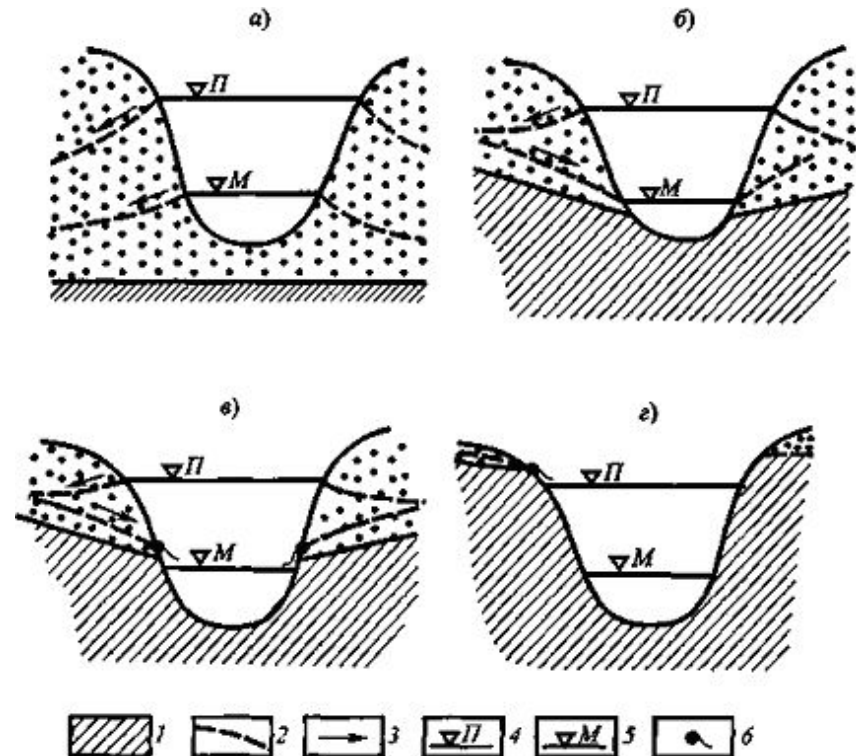


# Наземная гидросфера



# Поверхностный и подземный сток

- Гидросфера Земли едина и неделима. Поверхностные воды питают подземные, и наоборот, подземные воды разгружаются в реки, озера, моря и океаны.
- Взаимосвязь поверхностных и подземных вод играет очень важную роль в гидрологических процессах и процессах теплопереноса на земном шаре. Эта связь заключается в обмене поверхностных и подземных вод водой, теплом, растворенными в воде веществами, их круговоротом.
- Движение воды по поверхности Земли- **поверхностный сток**.
- Движение воды в порах и пустотах горных пород – **подземный сток**.





# Основные характеристики стока

- **Расход воды (потока)** - объем воды, протекающей через поперечное сечение потока ( $S$ ) в единицу времени ( $Q$ , м<sup>3</sup>/с)

$$Q = V * S$$

- **Объем стока** - это объем воды, прошедшей через данное поперечное сечение речного (подземного) потока за какой-либо интервал времени ( $W$ , м<sup>3</sup>/год )

$$W = Q * T$$

- **слой стока** - это количество воды, стекающее с водосбора за какой-либо интервал времени, равное толщине слоя стока, если бы он был равномерно распределен по площади водосбора. Толщина слоя стока ( $h$  (Y), мм)

$$h \text{ (Y), мм} = \frac{W \text{ (м}^3\text{)} \cdot 10^{-3}}{F} = \frac{W \text{ (км}^3\text{)} \cdot 10^6}{F} \text{ по метрах}$$

# Основные характеристики стока

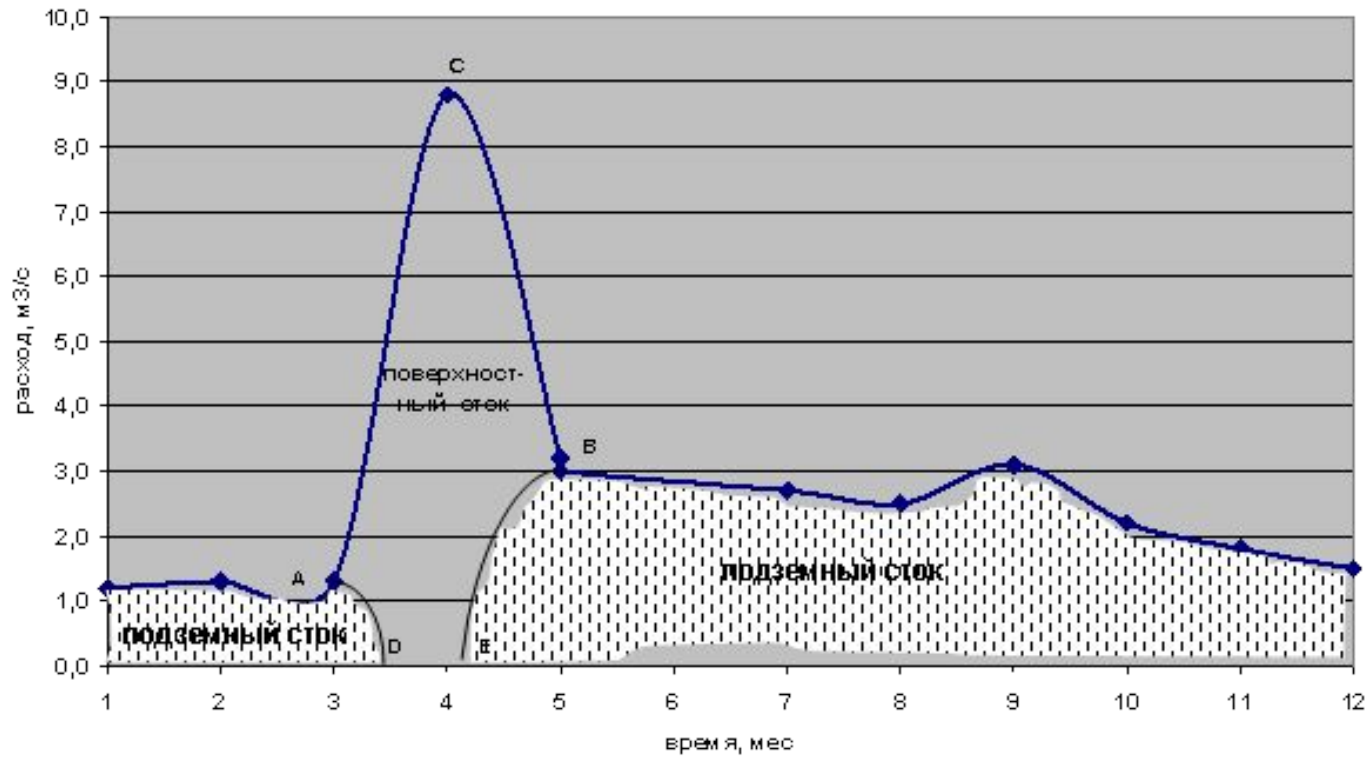
- **Модуль стока** - это количество воды (в литрах), стекающее в секунду с квадратного километра площади бассейна (водосбора). Модуль стока воды обозначают через  $M$ , л/

|       |                |                            |
|-------|----------------|----------------------------|
| $M =$ | $Q \cdot 10^3$ | $W \cdot 31.54 \cdot 10^6$ |
|       | $F$            | $F$                        |

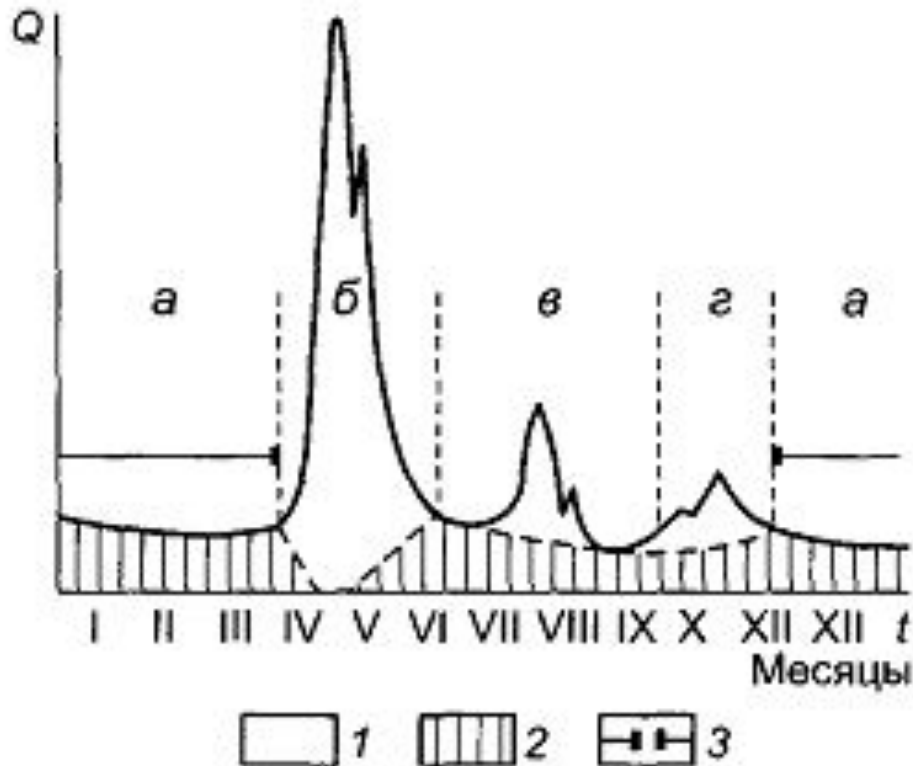
- **Коэффициент стока**- отношение величины слоя стока к количеству выпавших на площадь водосбора атмосферных осадков:  $K_{ст} (\eta) = y/x$
- **Модульный коэффициент** ( $K_i$ ) – отношение стока за какой-либо период ( $M_i$ ) к его норме ( $M_0$ ):
- $K_i = Q_i/Q_0 = M_i/M_0 = W_i/W_0 = y_i/y_0$

# Гидрограф

Гидрограф реки X

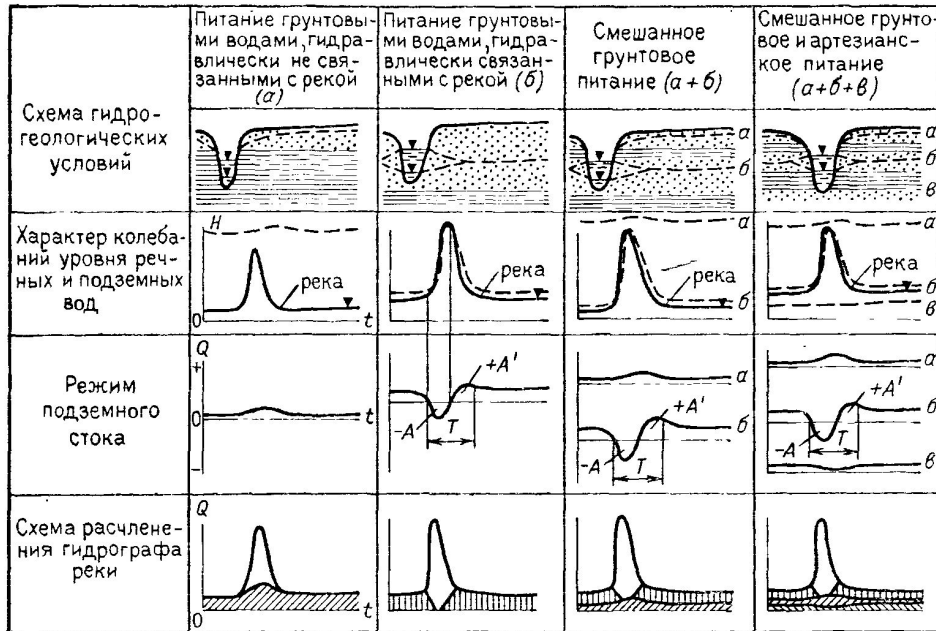


# Расчленение гидрографа по видам питания



- 1-поверхностный сток
- 2-подземный сток
- 3-ледостав
- а-зимняя межень
- б-весеннее половодье
- в-летняя межень с дождевыми паводками (в, г)

# Расчленение гидрографа



$t$  — время;  $H$  — уровень;  $Q$  — расход;  $T$  — время берегового регулирования;  $-A$  и  $+A$  — объемы подземного стока, принимающие участие в береговом регулировании; 1 — водоносные породы; 2 — водонепроницаемые породы; 3 — подземный сток в реку при условии а; 4 — то же, при условии б; 5 — подземный сток в реку из артезианских (напорных) пластов; 6—7 — уровни вод (6 — подземных; 7 — речных)

В зависимости от ГГУ выделяют несколько схем:

а) ГВ не имеют связи с рекой;

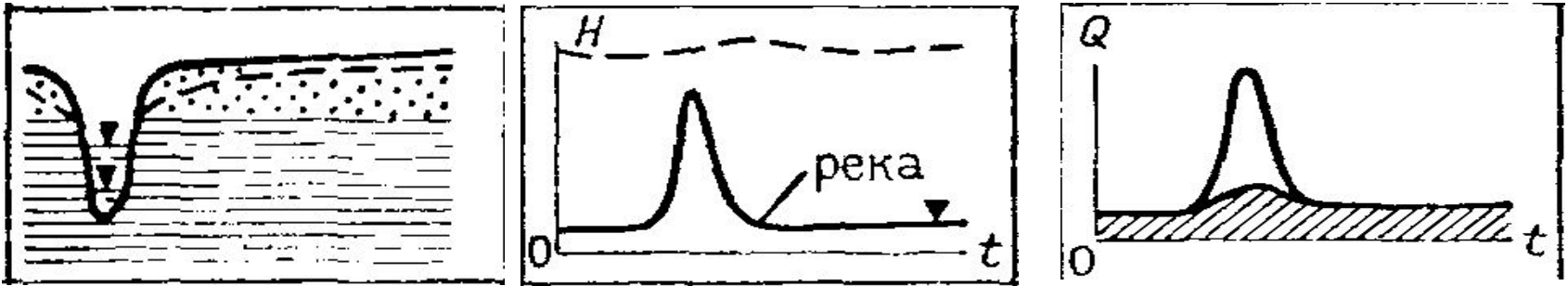
б) ГВ гидравлически связаны с рекой;

в) схема а)+б); г)

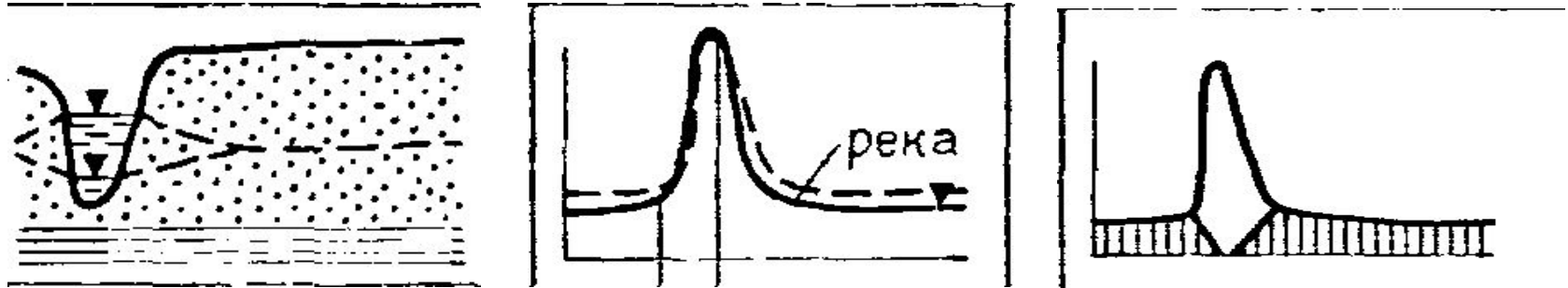
грунтовое и артезианское питание реки

# Река дренирует один водоносный горизонт

- а) ГВ не имеют связи с рекой;

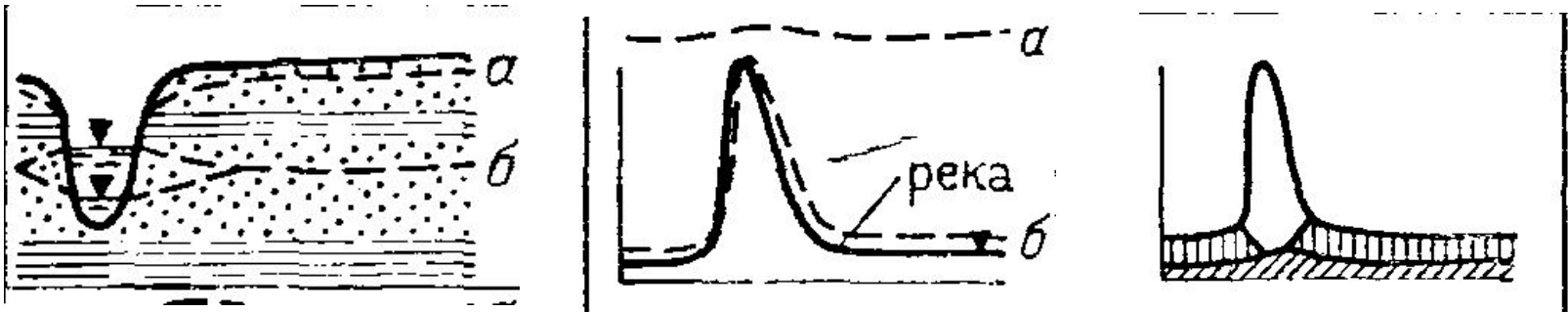


- б) ГВ гидравлически связаны с рекой;

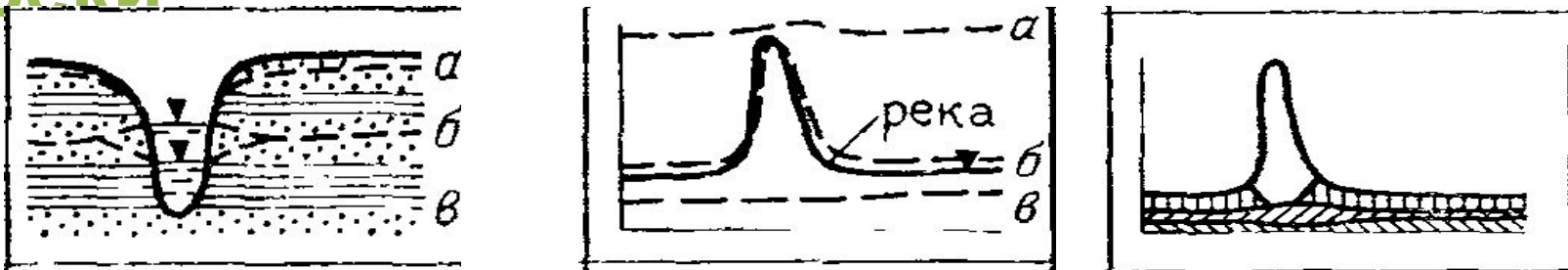


# Река дренирует ГВ и АВ

в) схема а)+б); 2 водоносных горизонта



г) грунтовое и артезианское питание реки



# Расчет характеристик стока методом генетического расчленения гидрографа

1. Для вычисления объема годового стока определяется масштаб одного квадратного сантиметра ( $\text{м}^3$ ), площадь гидрографа ( $\text{см}^2$ ) умножается на масштаб:

$$W_{\text{общ.}} = M_{1\text{см}^2} * S_{\text{общ.}}, \text{ м}^3/\text{год.}$$

2. Модуль стока определяют делением объема стока ( $\text{л/с}$ ) на площадь водосборного бассейна реки ( $\text{км}^2$ ):

$$M_{\text{общ.}} = W_{\text{общ.}} / 31,54 * 10^3 * F_{\text{в.б.}}, \text{ л/с} * \text{км}^2.$$

3. Слой стока определяется делением объема стока ( $\text{м}^3$ ) на площадь водосборного бассейна ( $\text{м}^2$ ), полученное значение переводим в миллиметры:

$$h_{\text{общ.}} = 10^3 * W_{\text{общ.}} / F_{\text{в.б.}}, \text{ мм.}$$



# Расчет характеристик стока методом генетического расчленения гидрографа

4. Аналогичным образом определяются объемы, модули и слой поверхностного и подземного стока.

5. Коэффициент подземного питания реки равен отношению величины подземного стока к общему речному:

$$K_{\text{п.п.р.}} = (h_{\text{подз.}} / h_{\text{общ.}}) * 100\%.$$

6. Коэффициент подземного стока в процентах от осадков:

$$K_{\text{подз.}} = (h_{\text{подз.}} / h_{\text{а.о.}}) * 100\%.$$

7. Модульный коэффициент в процентах от нормы стока:

$K = M_i / M_0$ , где  $M_i$  – значение модуля стока (объема стока, расхода, слоя стока) за текущий год,  $M_0$  – среднемноголетнее значение той же величины (модуля стока, объема стока, расхода, слоя стока).

- Вычисленные значения модуля стока, слоя стока, объема годового стока и расхода характеризуют **естественные ресурсы поверхностных и подземных вод.**

# Водный баланс

- Составными частями круговоротов являются осадки, конденсация, испарение, поверхностный и подземный сток.
- Соотношение прихода и расхода воды с учетом изменения ее запасов для любого участка, речного бассейна, участка подземной гидросферы называют

**водным балансом**  $X + K \pm \Delta Y - Z_1 - Z_2 \pm \Delta W = \pm \Delta U,$

где  $X$  — атмосферные осадки;  $K$  — конденсация;  $\Delta Y$  — разность притока и оттока поверхностных вод (поверхностный приток и отток);  $Z_1$  — испарение с водной поверхности (поверхность речных вод, озер и др.);  $Z_2$  — суммарное испарение с поверхности суши, в том числе транспирация растительностью;  $\Delta W$  — разность между просачиванием поверхностных вод через поверхность земли и притоком подземных вод на поверхность (подземный приток и отток);  $\Delta U$  — изменение запасов воды на площади балансового участка (в руслах рек и ручьев, озерах, болотах, в почвенном слое и др.).

# Уравнение водного баланса за многолетний период

$$X_0 - Y_0 - Z_0 + (-)\Delta W = 0$$

**Элементы балансовых уравнений (участка, бассейна) за любой отрезок времени учитывают взаимодействия атмосферы, земной поверхности суши, поверхностной и подземной гидросферы.**

# Детальное уравнение водного баланса

$$\Delta M + \Delta U + \Delta S_c + \Delta S_p + \Delta S_{оз} + \Delta S_6 + \eta = \\ = X - (Y_{п} - Y_{г} - Y_{а} - Y_{в} + Z),$$

где  $\Delta M$  — изменение влагозапасов в почве и зоне аэрации;  $\Delta U$  — изменение запасов влаги в водоносных горизонтах, дренируемых рекой;  $\Delta S_c$ ,  $\Delta S_p$ ,  $\Delta S_{оз}$ ,  $\Delta S_6$  — изменение запасов влаги соответственно в снеге и ледяной корке, в русловой сети бассейна, в озерах и водохранилищах на территории бассейна, в болотах;  $\eta$  — сумма составляющих баланса за счет изменений запасов влаги в зоне аэрации, возможного водообмена с грунтовыми и напорными водами и суммарной погрешности определения всех его составляющих;  $X$  — количество атмосферных осадков;  $Y_{п}$ ,  $Y_{г}$  — соответственно поверхностный и грунтовый сток;  $Y_{а}$  — водозабор из русла реки;  $Y_{в}$  — возвратные воды и переброшенные из соседних бассейнов;  $Z$  — суммарное испарение из бассейна.

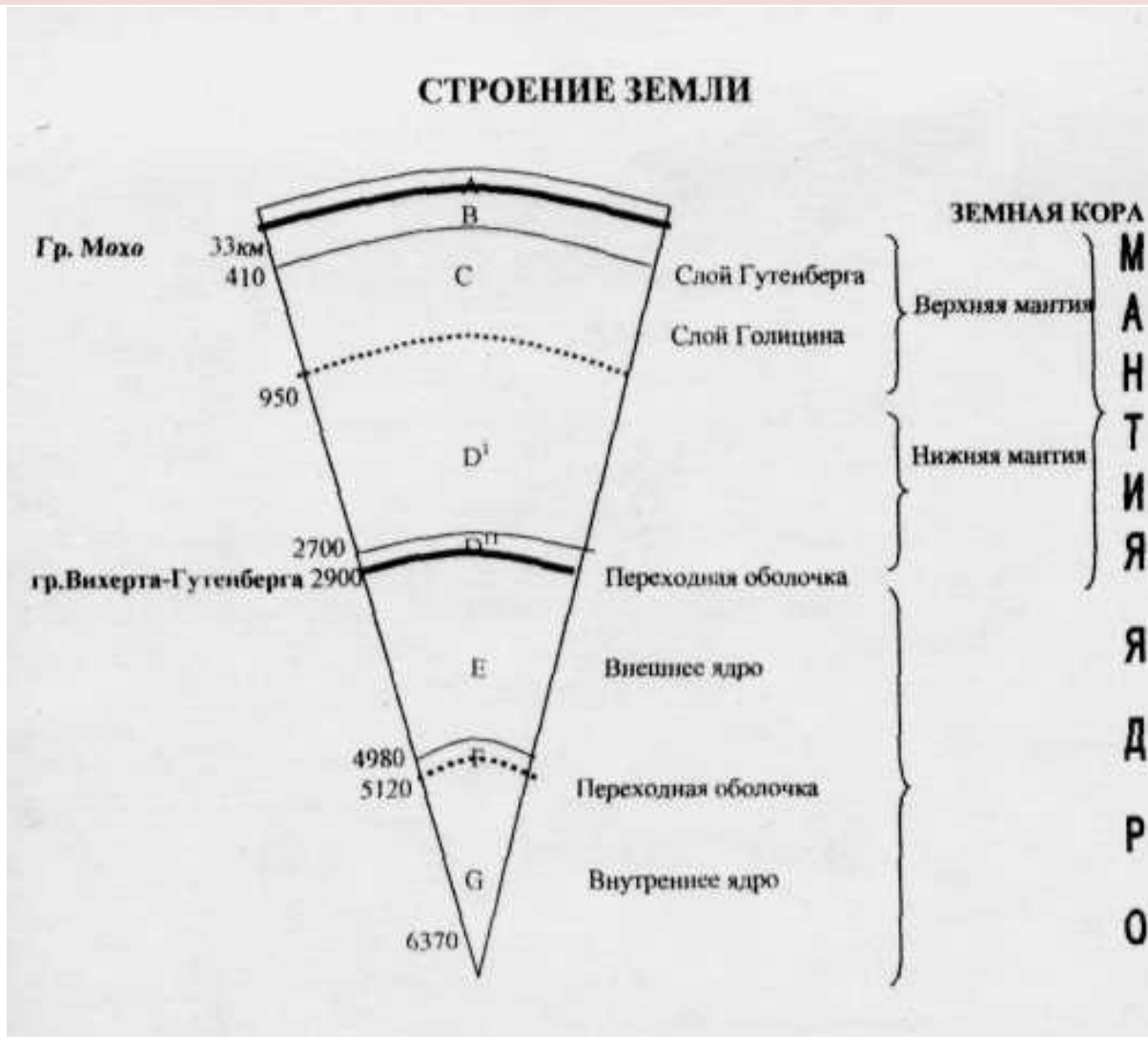
- Для составления такого баланса необходимо:
- Изучить ГГУ в долине реки
- Провести ОФР для оценки параметров водоносных горизонтов и разделяющих пластов
- Наблюдения за режимом ПВ для выяснения условий взаимосвязи с рекой
- Провести гидрологические наблюдения
- Провести метеонаблюдения

# ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОСФЕРА

Строение подземной гидросферы, виды воды в горных породах, ее фазовое состояние, ее движение определяются:

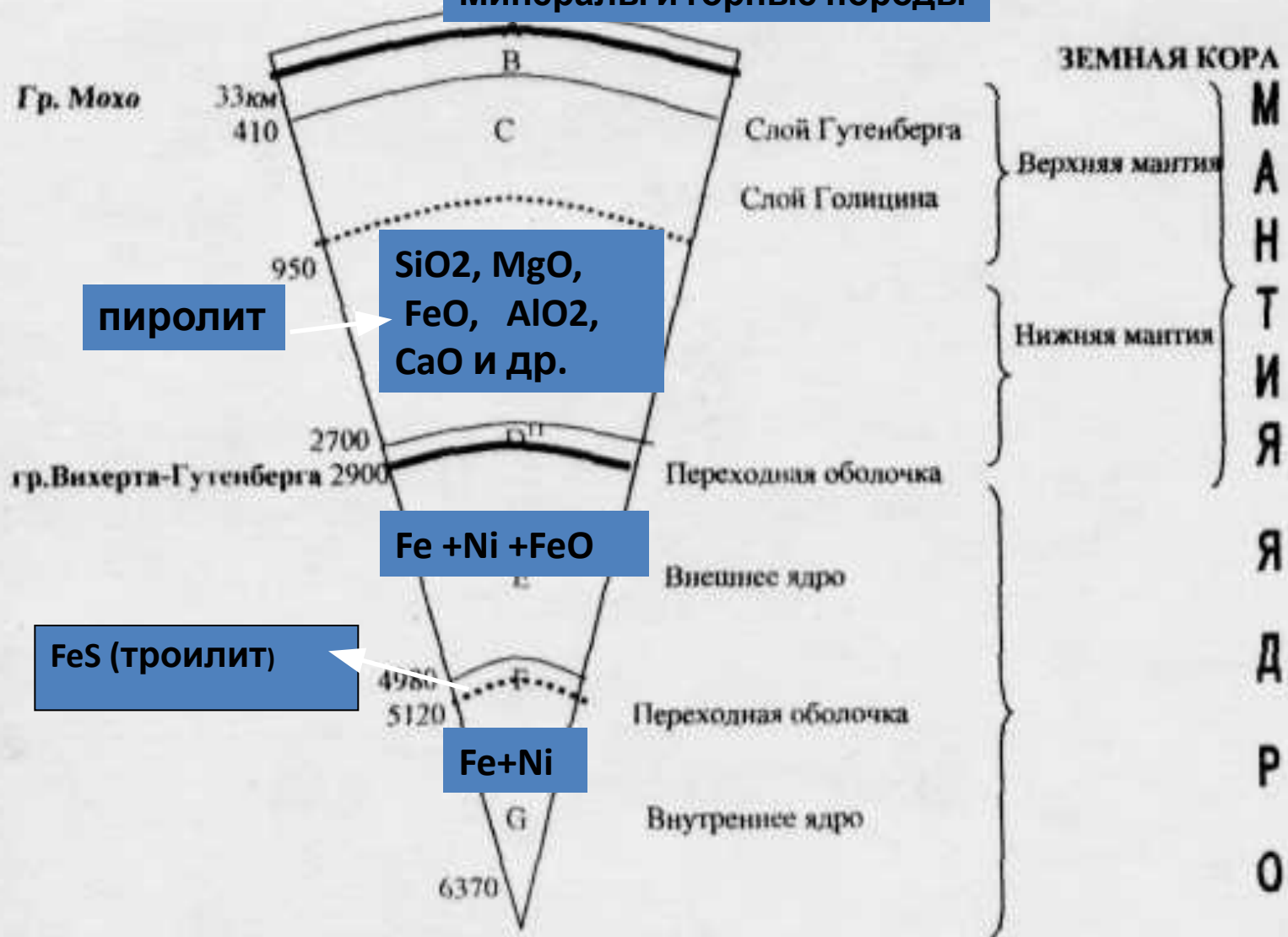
- Строением и историей развития
- Термодинамическим режимом
- Составом и свойствами горных пород
- Рельефом и гидрографией
- Климатическими условиями

# Внутренне строение Земли



# Химический состав геосфер Земли

## Минералы и горные породы



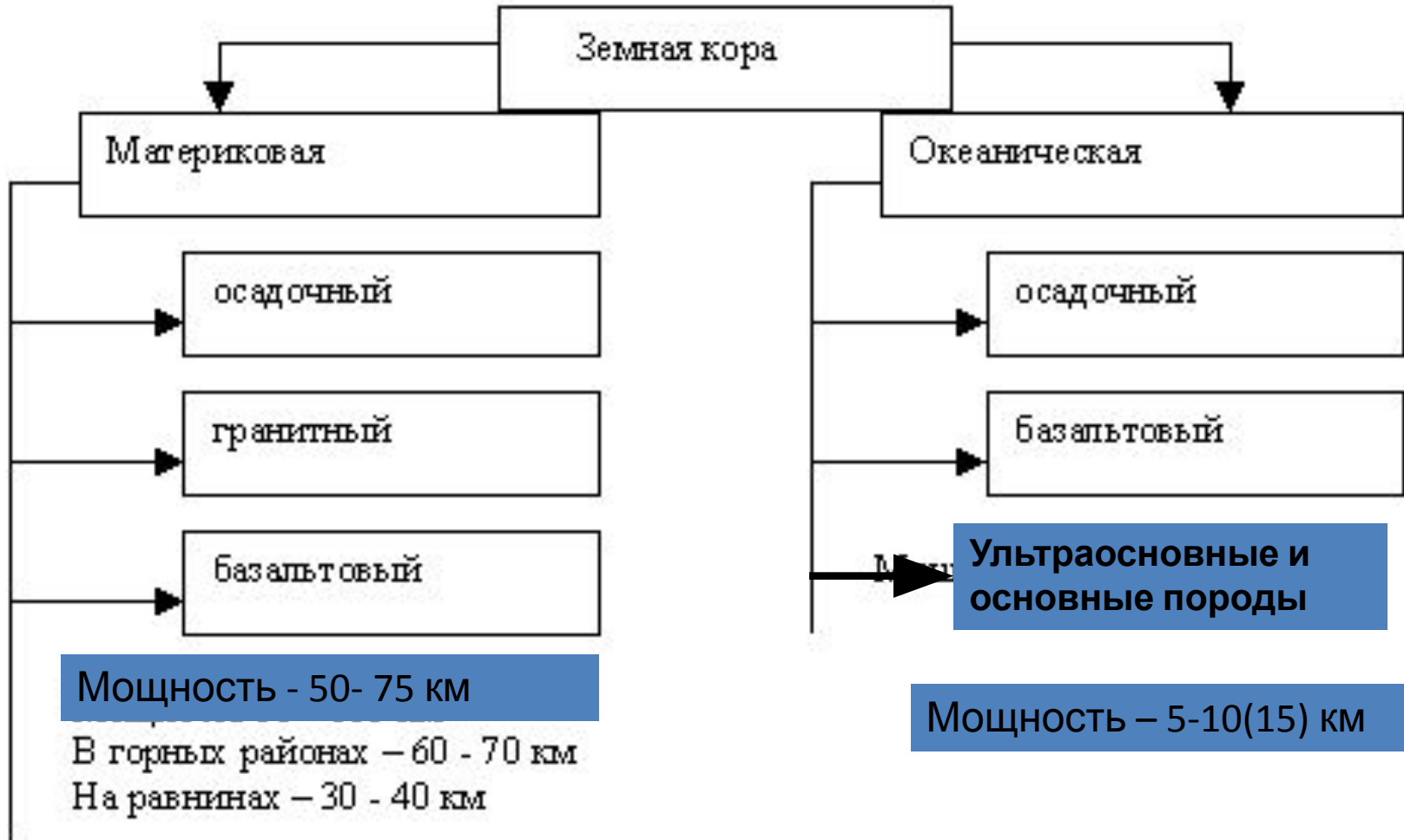
# Строение земной коры

Выделяют 3 типа земной коры:

1. Континентальная  
(материковая)
1. Океаническая
2. Промежуточная



# Строение земной коры



# Состав земной коры

- До глубины 16 км земная кора состоит на 95 % из магматических и метаморфических пород и на 5 % - из осадочных
- Средние концентрации химических элементов в земной коре называют кларками по имени ученого Кларка, опубликовавшего в 1889 г. результаты 40-летних исследований.

# Кларки земной коры, % (по А.П.Виноградову, 1962г.)



# Подземная гидросфера

Виды воды в горных породах: свободная вода в порах, трещинах и пустотах;

физически и химически связанная вода.

Фазовые состояния: твердое (лед), жидкое, газообразное (пар)

- Парообразная
- Жидкая
- В твердом состоянии
- Гравитационная
- Связанная
- Капиллярная
- Сверхкритическая



Рис. 2.1. Диаграммы фазового состояния воды в зависимости от температуры и давления (по К. Краускопфу)

# Строение подземной гидросферы

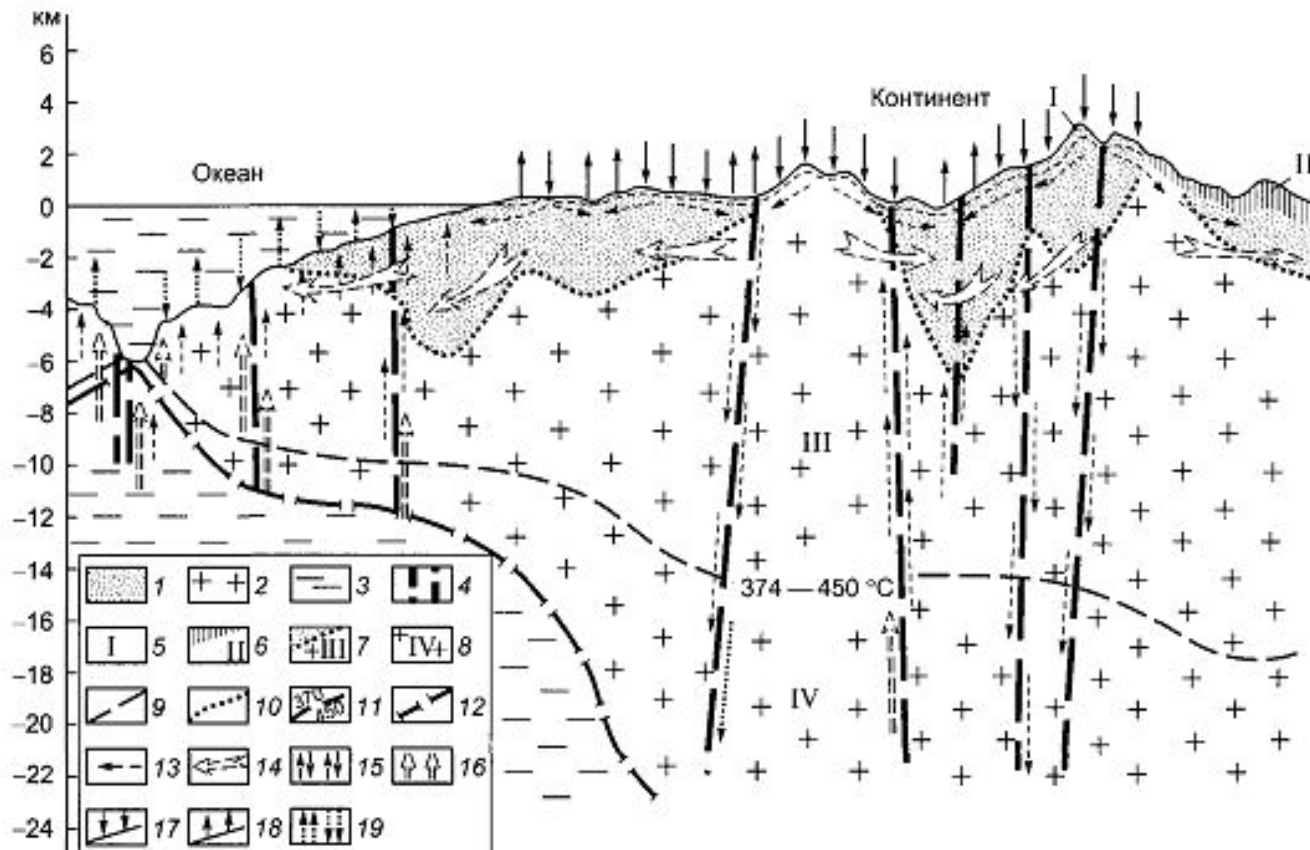


Рис. 2.3. Принципиальный гидрогеологический разрез земной коры; 1 — осадочные породы земной коры; 2 — гранитный и базальтовый слой земной коры; 3 — верхняя мантия; 4 — зоны глубоких тектонических разломов; 5 — зона аэрации (вне масштаба); 6 — криолитозона (геокриолитозона); 7 — зона полного насыщения; 8 — зона подземных вод в надкритическом состоянии; 9 — нижняя граница зоны аэрации; 10 — подошва осадочных пород; 11 — нижняя граница зоны полного насыщения; 12 — граница Моховичича; 13 — направления движения "местных" потоков подземных вод; 14 — региональных потоков; 15 — глубинных субвертикальных потоков; 16 — возможное поступление ювенильных растворов; 17 — инфильтрационное питание; 18 — испарение грунтовых вод; 19 — захоронение морской воды с осадками и отжатие поровых вод

# Строение подземной гидросферы

**Зона аэрации** — понятие введено американским гидрогеологом О. Мейндером (1933) — представляет собой верхнюю не полностью насыщенную (ненасыщенную) водой часть разреза горных пород, мощность которой изменяется от первых сантиметров (метров) на равнинных пониженных участках территории до 200—250 м и более на интенсивно расчлененных междуречных пространствах горных районов. Верхней границей зоны аэрации является поверхность земли, нижней — поверхность (уровень) подземных вод первого водоносного горизонта.

**Зона полного насыщения** охватывает верхнюю часть разреза земной коры от уровня первого водоносного горизонта (нижняя граница зоны аэрации) до глубин 8—20 км (см. рис. 2.3), на которых по существующим представлениям температура и давление водных растворов достигают критических значений (см. рис. 2.1).

По имеющимся данным в ряде районов современного вулканизма парогидротермы с температурами, близкими к критическим значениям (до 300°C и более), вскрыты буровыми скважинами на глубинах 1500—2000 м (Мексика, Сьерра-Прието, скважина глубиной 1500 м, температура воды 388°C).

**Криолитозона** выделяется как самостоятельный элемент подземной гидросферы в области распространения многолетнемерзлых пород (высокие широты Северного и Южного полушария, высокогорные районы). В зависимости от строения гидрогеологического разреза земной коры она обычно охватывает часть зоны аэрации и верхнюю часть зоны полного насыщения. Мощность криолитозоны в зависимости от климатических условий местности (главным образом среднегодовые температуры воздуха), геологического строения и геотемпературных условий верхней части разреза земной коры изменяется от первых метров до 1000—1500 м и более (Романовский, 1983; Ершов, 2002; и др.).

Нижняя часть разреза земной коры до границы с верхней мантией рассматривается в настоящее время (Е.В. Пиннекер и др.) как зона, содержащая подземные воды в надкритическом состоянии. Мощность этой зоны в пределах континентов достигает, вероятно, 20—30 км и более (см. рис. 2.3).

# Зона надкритического состояния ВОДЫ

- Располагается в самых нижних горизонтах земной коры при температурах около 400 град. С и давлении более 218 атм.
- Вода превращается в субстрат с плотностью примерно 1 г/см<sup>3</sup>, а скоростью движения молекул, как у газа.

Ученые из Германии и Новой Зеландии обнаружили самую горячую подземную воду на планете. Температура так называемой сверхкритической жидкости в гидротермальных источниках на дне Атлантического океана составляет 407 градусов по Цельсию (ж. Geology)

При увеличении давления и температуры вода переходит из жидкого состояния в газообразное. Однако, при достижении определенных критических значений обоих параметров вода приобретает новые свойства, не характерные ни для газов, ни для жидкостей. Так, вещество в этом состоянии является более плотным, чем газ (и для него не соблюдаются газовые законы), но менее плотным, чем жидкость (и обладает иными свойствами).

# Гидротермальные источники

- В Атлантическом океане к югу от экватора температура воды из источника составила **407 градусов** по Цельсию. В короткие моменты после выброса (около 20 секунд) жидкость сохраняла температуру до **464 градусов** по Цельсию.

Компьютерное моделирование показало, что перед тем, как выйти из-под поверхности, вода в этих источниках проходит по трещинам в морском дне, которые уходят достаточно глубоко и прогреваются от магмы. Именно в трещинах нагретая до 407 градусов вода, находясь под давлением в 300 бар (296 атмосфер), переходит в сверхкритическое состояние.

Вода в таком состоянии вымывает металлы и другие элементы из горных пород гораздо лучше, чем в жидком. Вместе с водой из-под поверхности в океан вымываются золото, медь, железо, сера, марганец и некоторые другие. Из-за сульфидов (солей серы), оседающих вокруг источников, вода и камни окрашиваются в черный цвет. Поэтому такие гидротермальные источники получили название «черных курильщиков».

Ученым удалось обнаружить самую горячую воду в «черных курильщиках» Две Лодки (Two Boats) и Сестринский Пик (Sisters Peak).



# ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ

## СТРУКТУРНЫЕ ТИПЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

- **Гидрогеологическая структура** – это элементарное геологическое пространство, заполненное водой. Оно является двуединым, то есть первичным (пора) и вторичным (трещина) (рис.3.1).
- В соответствии с этой двуединостью выделяются **основные структурные типы** подземных вод – **поровые и трещинные**.

Небольшие массивы рыхлых водопроницаемых пород заполнены **поровыми водами**, которые в масштабах гидрогеологического резервуара переходят в **пластовые**.

- **Трещиноватость** по своему происхождению делится на **региональную (1) трещиноватость** (трещины выветривания, диагенетические, остывания, усыхания и др.) и **локальную (2) трещиноватость**, исключительно тектонической природы.

Первая развивается на больших площадях, но не достигает больших глубин (в среднем в пределах 30-50 м). Вторая, наоборот, образует линейно-вытянутые зоны, уходящие на большие глубины (1 км и более).

С региональной трещиноватостью связаны **трещинные подземные воды**, а с локальной – **жильные** (напоминающие по своей морфологии линейно-вытянутые жилы, но заполненные водой)

# Подземные водные резервуары (структурные подразделения)

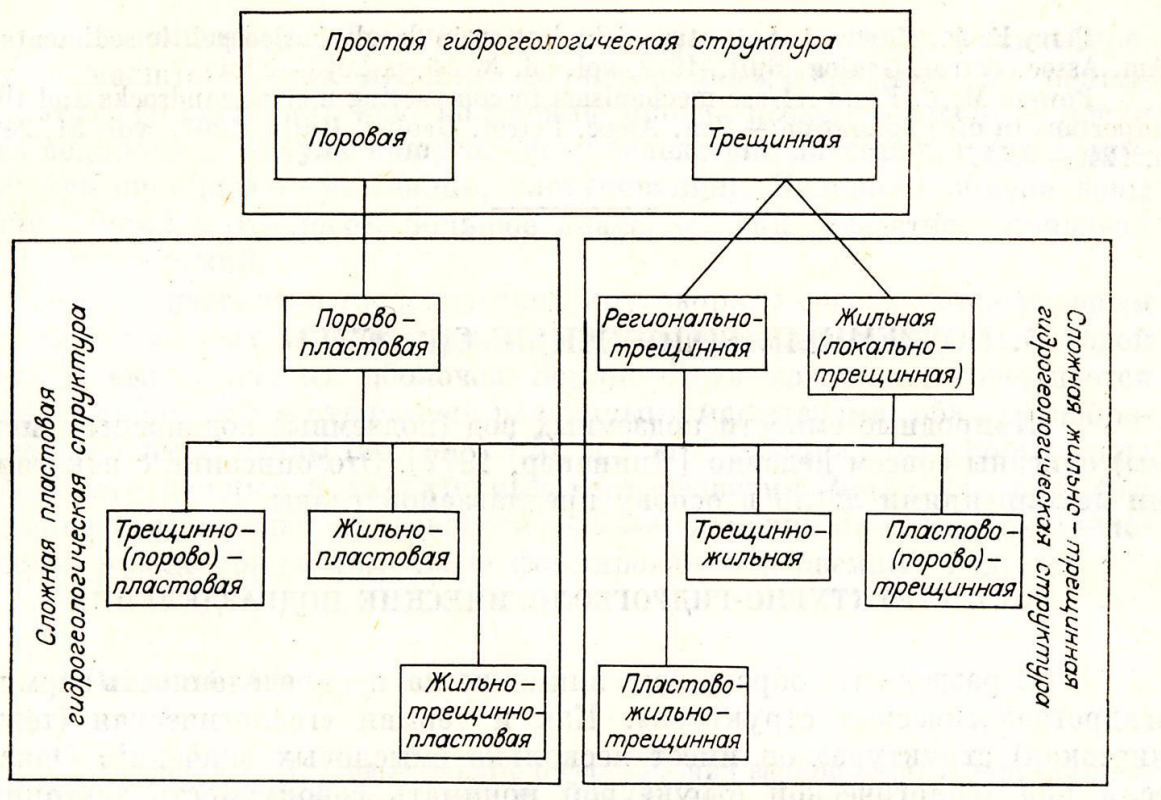


Рисунок 3.1.  
Структурно-гидрогеологические подразделения  
(по Е.В.Пиннекеру)