

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, образуящая 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 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 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

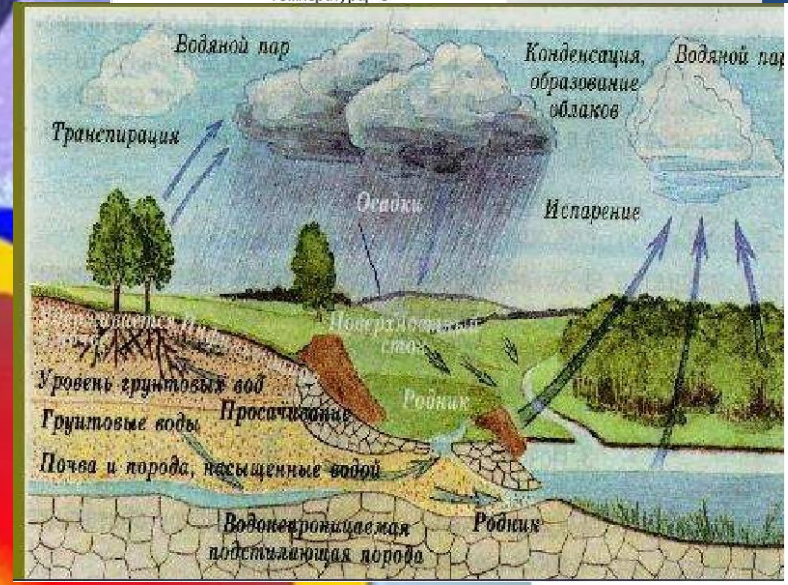
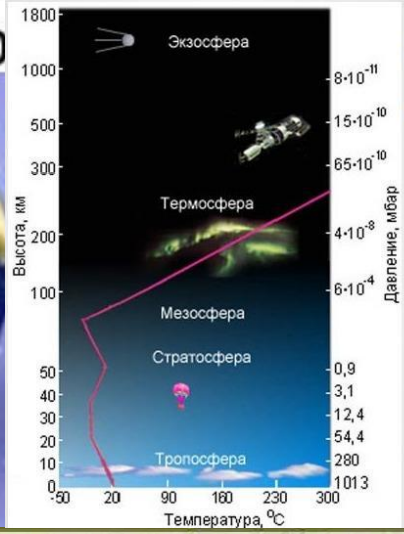
- Оценка ресурсов и запасов ПВ
- Гидрогеология месторождений полезных ископаемых
- Мелиоративная гидрогеология
- Инженерная гидрогеология
- Экологическая гидрогеология
- Мониторинг ПВ

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.

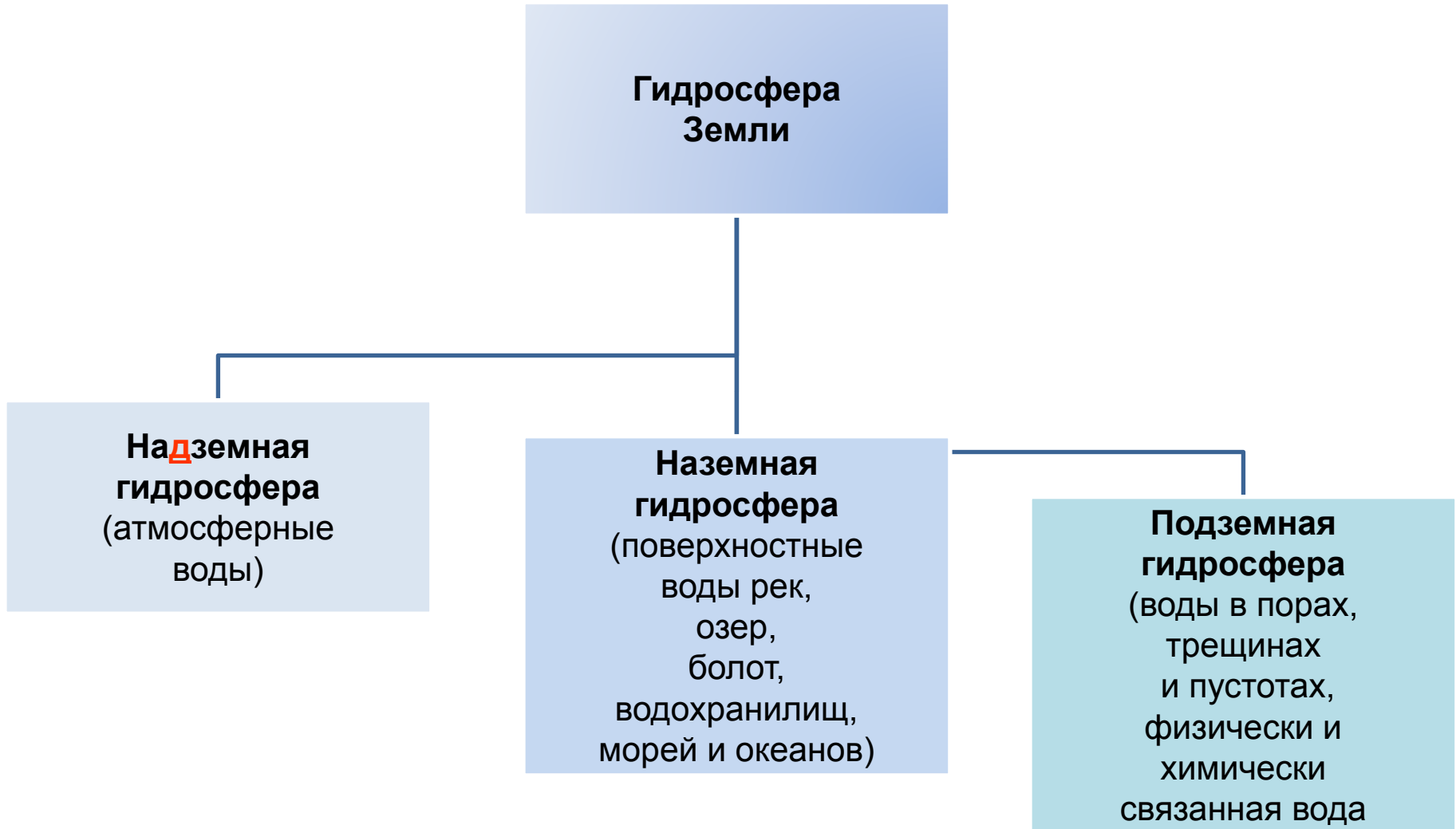
2. Формирование подземной гидросферы

- 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. км³. 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. км³

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

Элементы гидросферы	Объем, тыс. км ³	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)

Виды воды	Объем воды, тыс.км³	Доля, %
Мировой океан	1370323	93
Подземные воды	60000	4,12
Ледники	24000	1,65
Озера	280	0,019
Почвенная влага	85	0,006
Атмосферная влага(пар)	14	0,001
Речные воды	1,2	0,0001

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. км³ 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 CO_2 , NH_3 , NH_4 , H_2S , 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 CH_4 , NH_3 , H_2 , H_2S , CO_2 , H_2O и др., и на их базе на определенной глубине в океане (под экраном слоя воды) развивались **простейшие организмы**.
- Восстановление H_2O 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

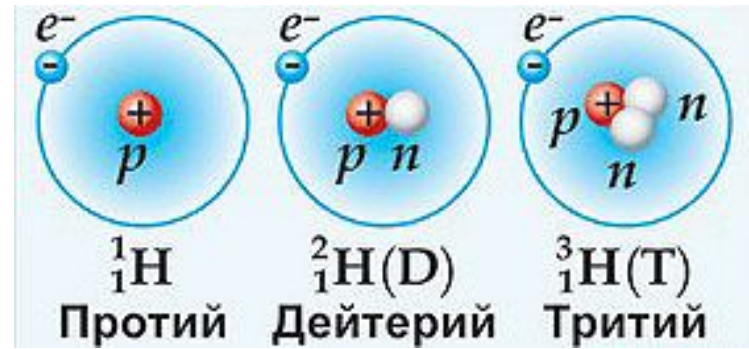
- 4. В раннем палеозое сформировалось $\text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$ равновесие, которое обеспечило стабильность состава вод океана.
- С появлением жизни на Земле изменились процессы выветривания в сторону усиления под влиянием CO_2 .
- В результате фотосинтеза кислород в атмосфере в настоящее время 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 воды	Средней морской воды, %
Хлориды	88,7	5,2
Сульфаты	10,8	9,9
Карбонаты	0,3	60,1
Прочие вещества	0,2	24,8

SMOW

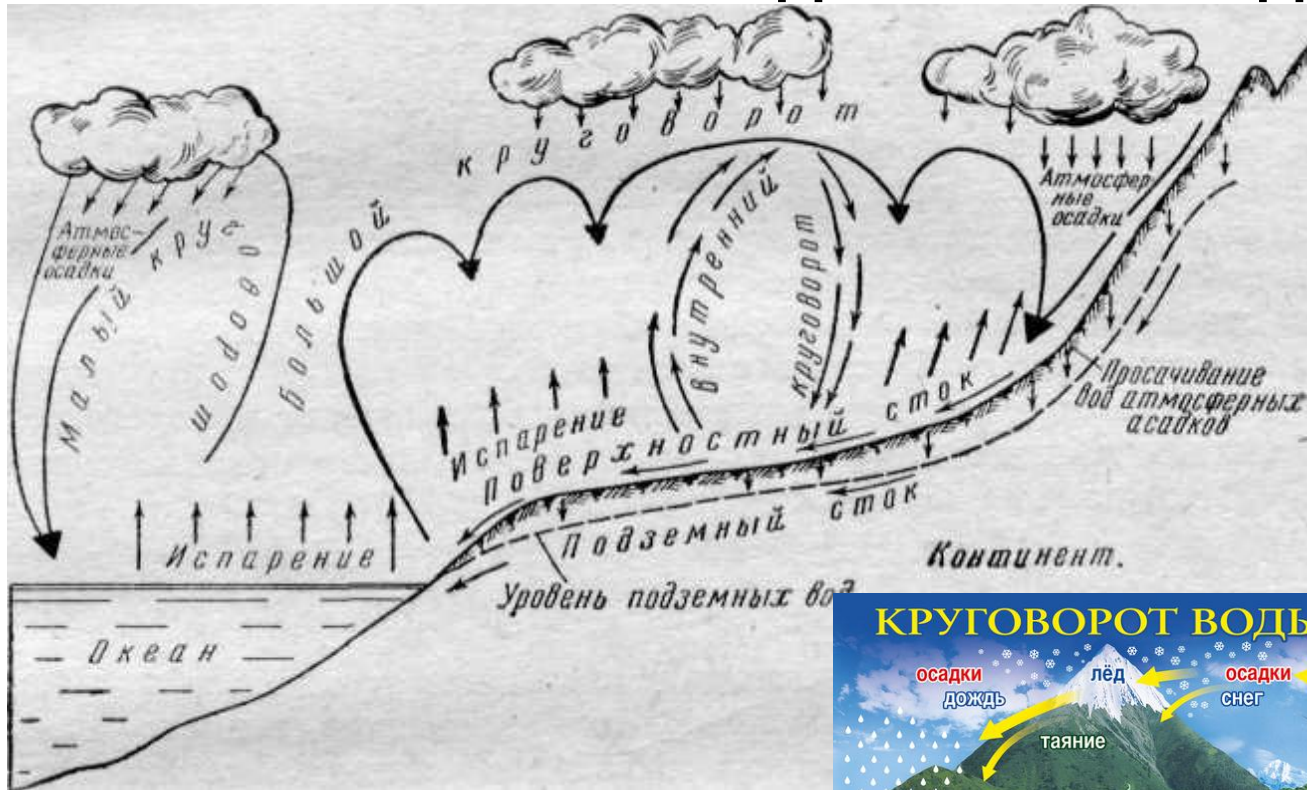


- Изотопные соотношения *SMOW* воды определяются следующим образом:
- $^2\text{H} / ^1\text{H} = 155,76 \pm 0,1$ частей на миллион
- $^3\text{H} / ^1\text{H} = 1,85 \pm 0,36 \times 10^{-11}$ частей на миллион
- $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O} = 2005,20 \pm 0,43$ частей на миллион
- $^{17}\text{O} / ^{16}\text{O}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

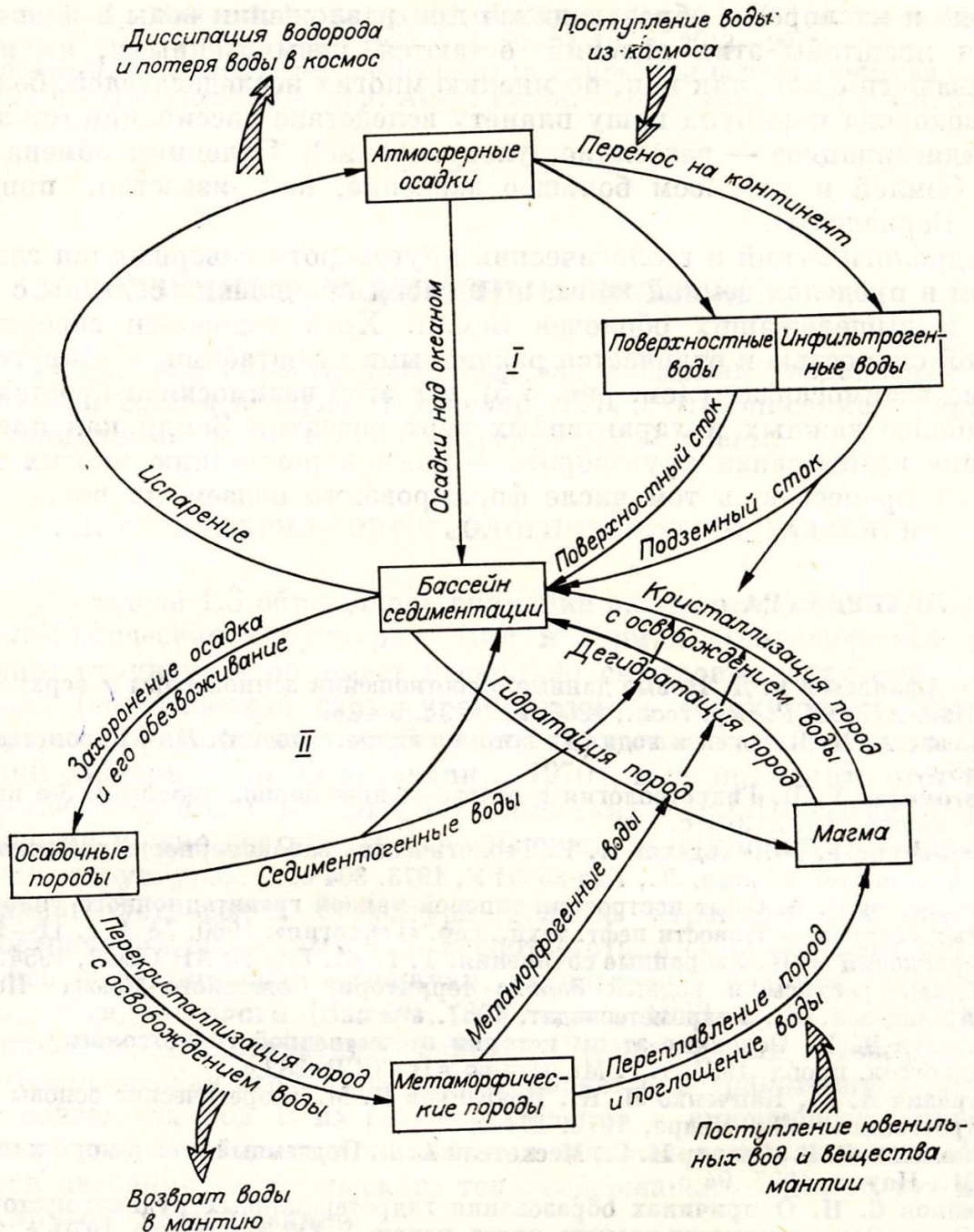
- **Внутренний** круговорот обеспечивается водой, которая испаряется в пределах материков — с водной поверхности рек и озер, с суши и растительности и там же выпадает в виде осадков. Эти осадки снова расходуются на сток и испарение, причем часть испарившейся влаги вновь выпадает на материке

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

Область	Площадь млн.км ²	Элементы круговорота	Годовой объем тыс.км ³
Мировой океан	361,45	Осадки <i>О_м</i> Приток речных вод <i>С</i> Испарение <i>И_м</i>	411,6+36,38 = 447,98
Суша со стоком	117,5	Испарение <i>И_с</i> Речной сток <i>С</i> Осадки <i>О_с</i>	64,62+36,38=101
Бессточные области	31,12	Испарение <i>И_{б.о.}</i> Осадки <i>Об.о.</i>	7,4 7,4
Весь земной шар	510,08	Испарение <i>И_м+И_с+И_{б.о.}</i> Осадки <i>О_м+О_с+Об.о.</i>	520,0 520,0

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**

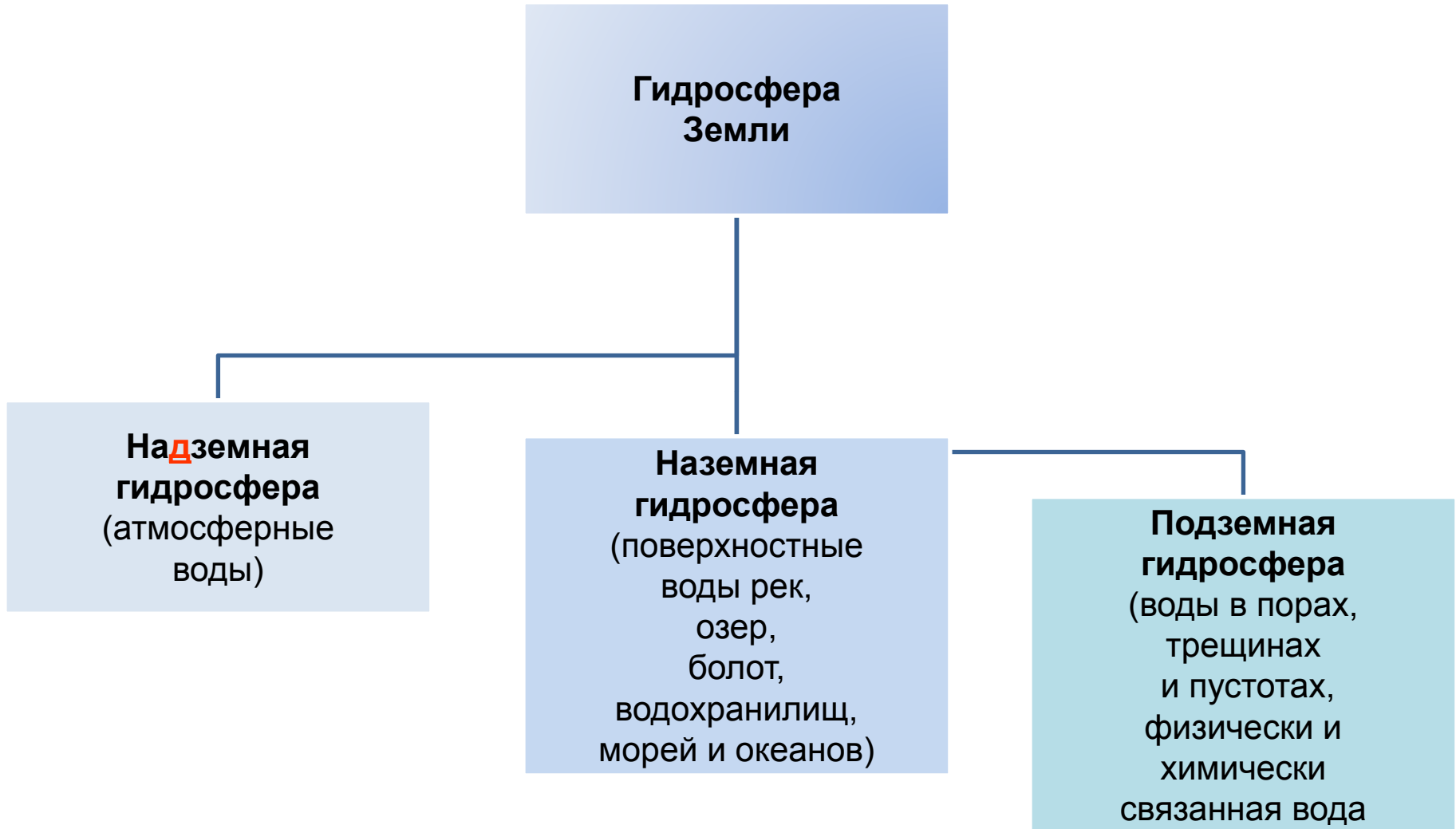


Взаимосвязь гидрологического (I) и геологического (II) круговоротов воды в земных недрах

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.

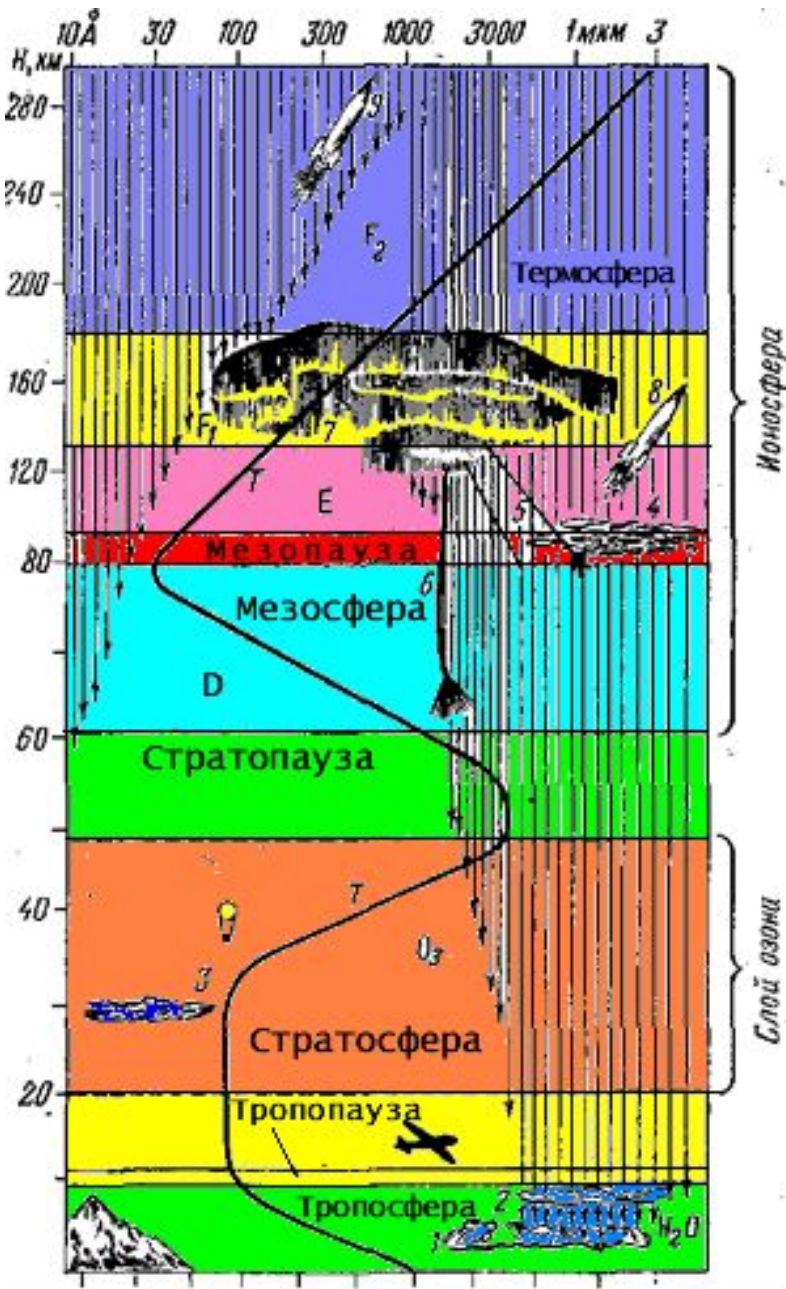
Гидросфера Земли



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.

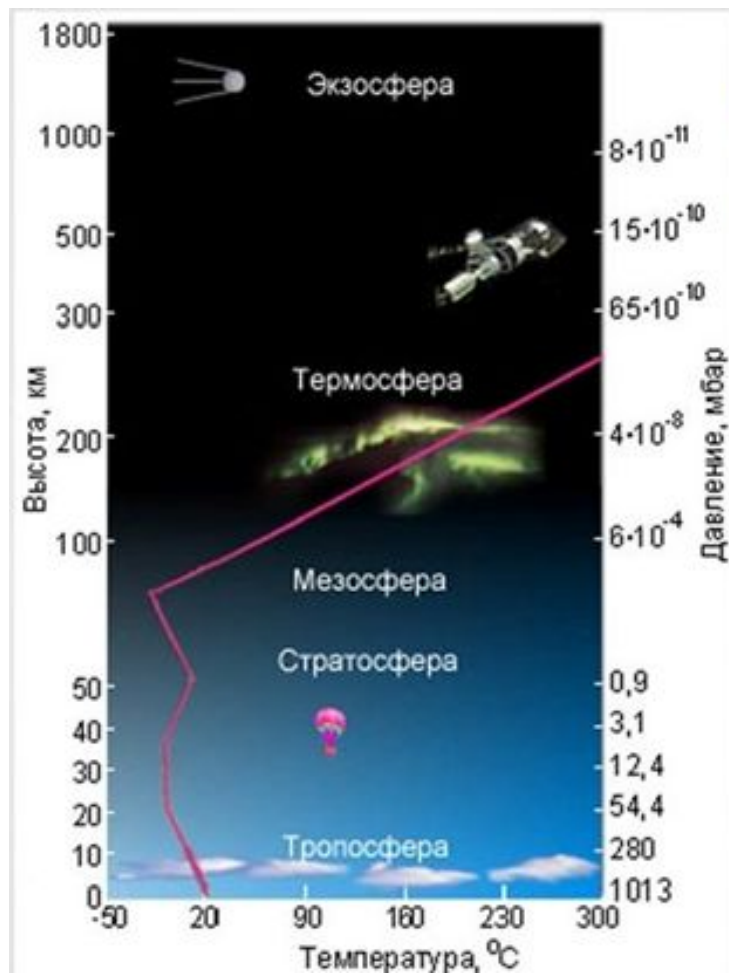


Строение атмосферы

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, мм ртутного столба	Плотность, кг/м ³	Скорость звука, м/сек
	по 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 а, км	Температура в градусах		Давление , кг/м ³	Плотност ь, кг/м ³	Скорость звука, м/сек	Средняя длина свободного пробега, мм	
	по Цельсию	абсолютная				НАКА	Грим- 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, км	Температура, в градусах		Количество молекул в 1 см ³	Длина свободног о пробега, м	Скорость звука, м/сек
	по Цельсию	абсолют 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

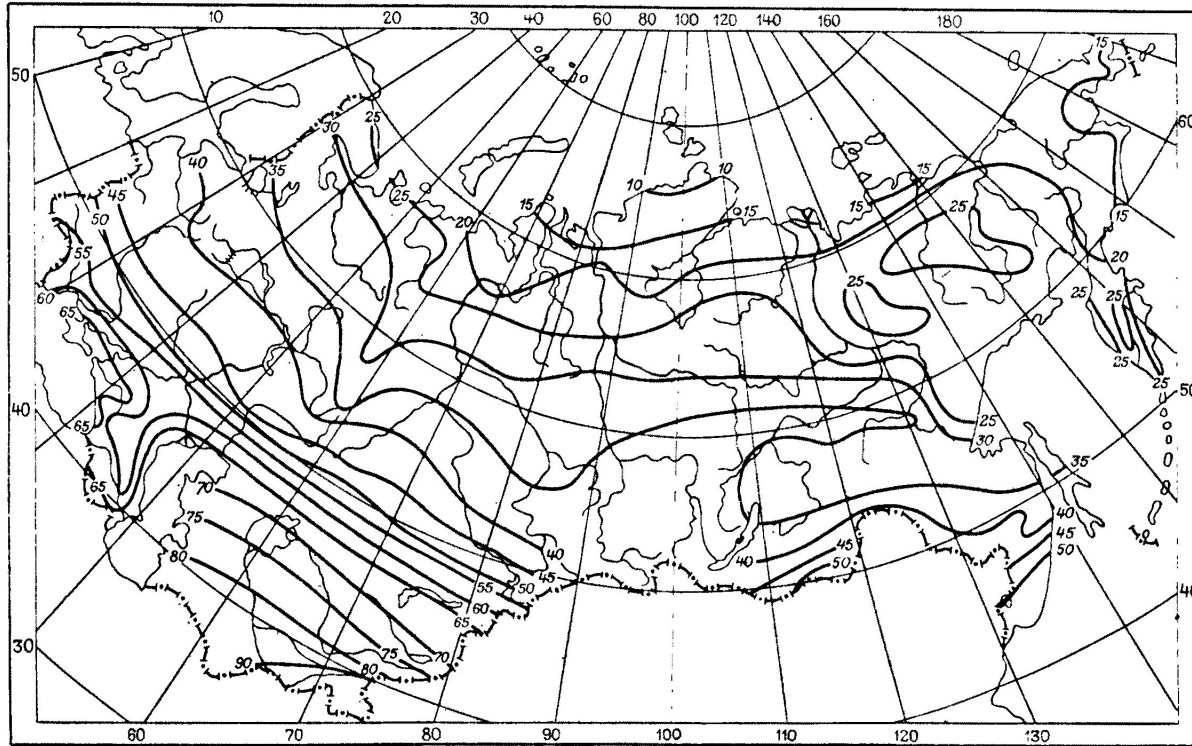


Рис. 28. Карта радиационного баланса СССР увлажненной поверхности, 41,9 МДж/м² (ккал/см²)

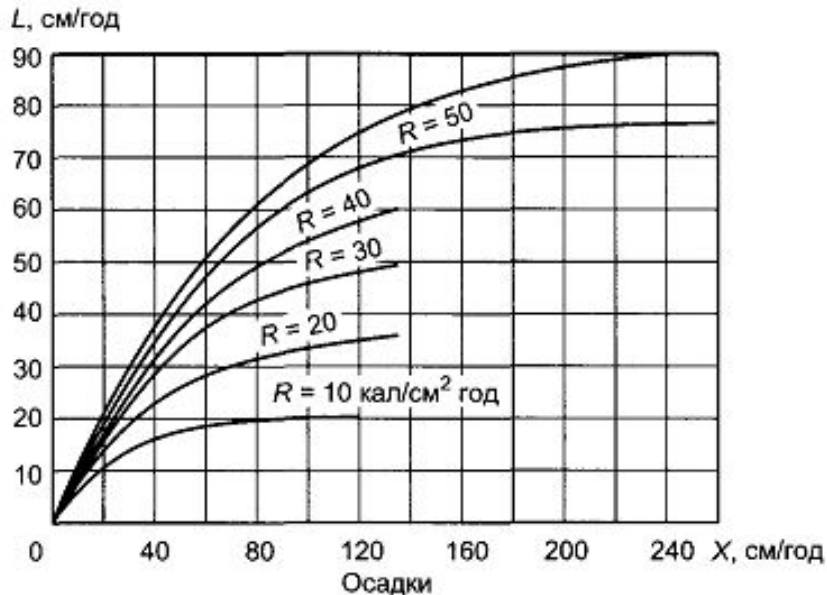
Среднее годовое испарение Z можно вычислить по уравнению связи М. И. Будыко [23]

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

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
гидрометры:** роса,
иней, гололед,
изморозь

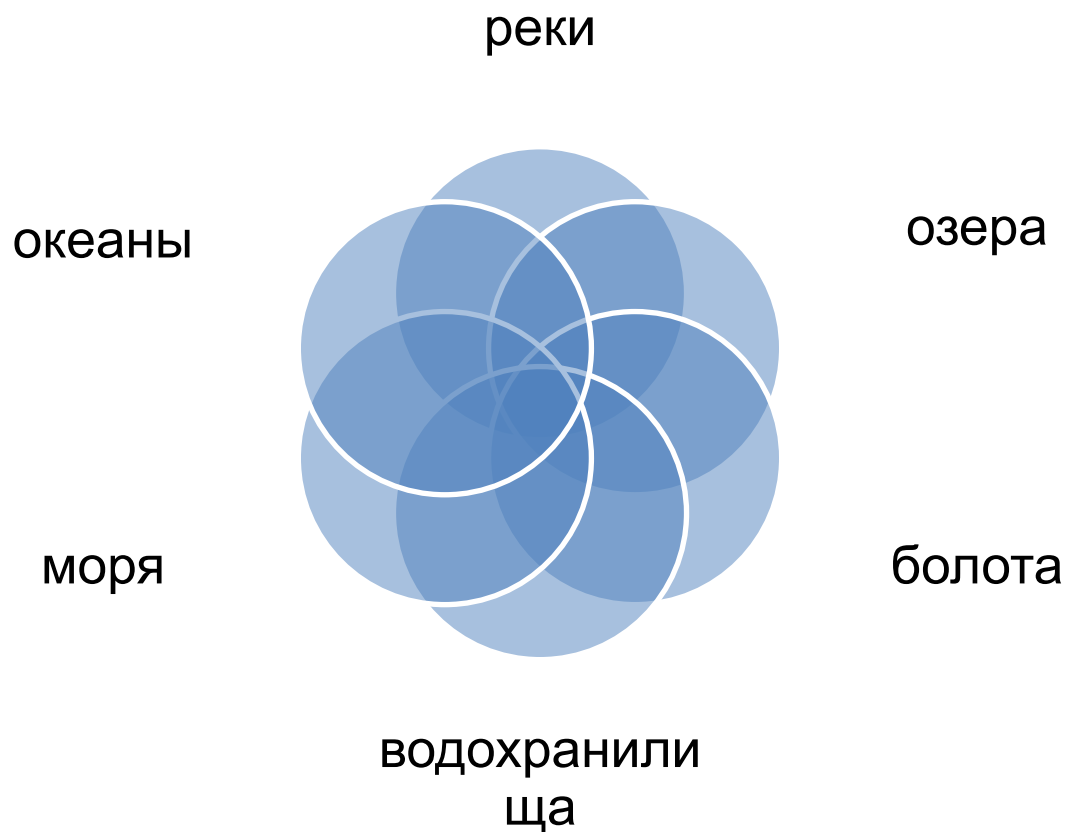


**высокие
гидрометры:**
дождь, морось, снег,
град



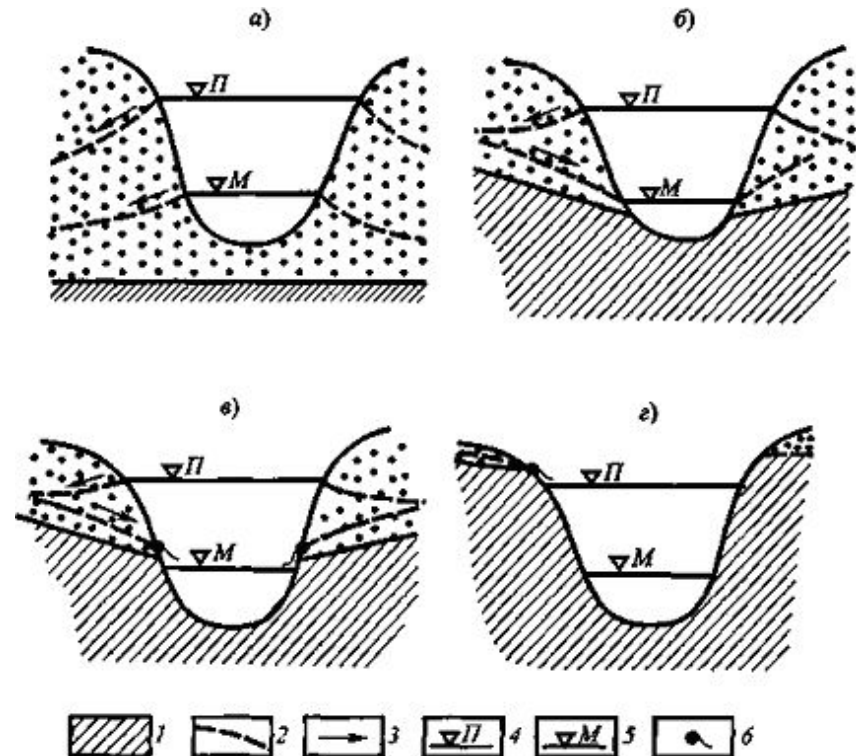


Наземная гидросфера



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 , м³/с)

$$Q = V * S$$

- **Объем стока** - это объем воды, прошедшей через данное поперечное сечение речного (подземного) потока за какой-либо интервал времени (W , м³/год)

$$W = Q * T$$

- **слой стока** - это количество воды, стекающее с водосбора за какой-либо интервал времени, равное толщине слоя стока по площади водосбора (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

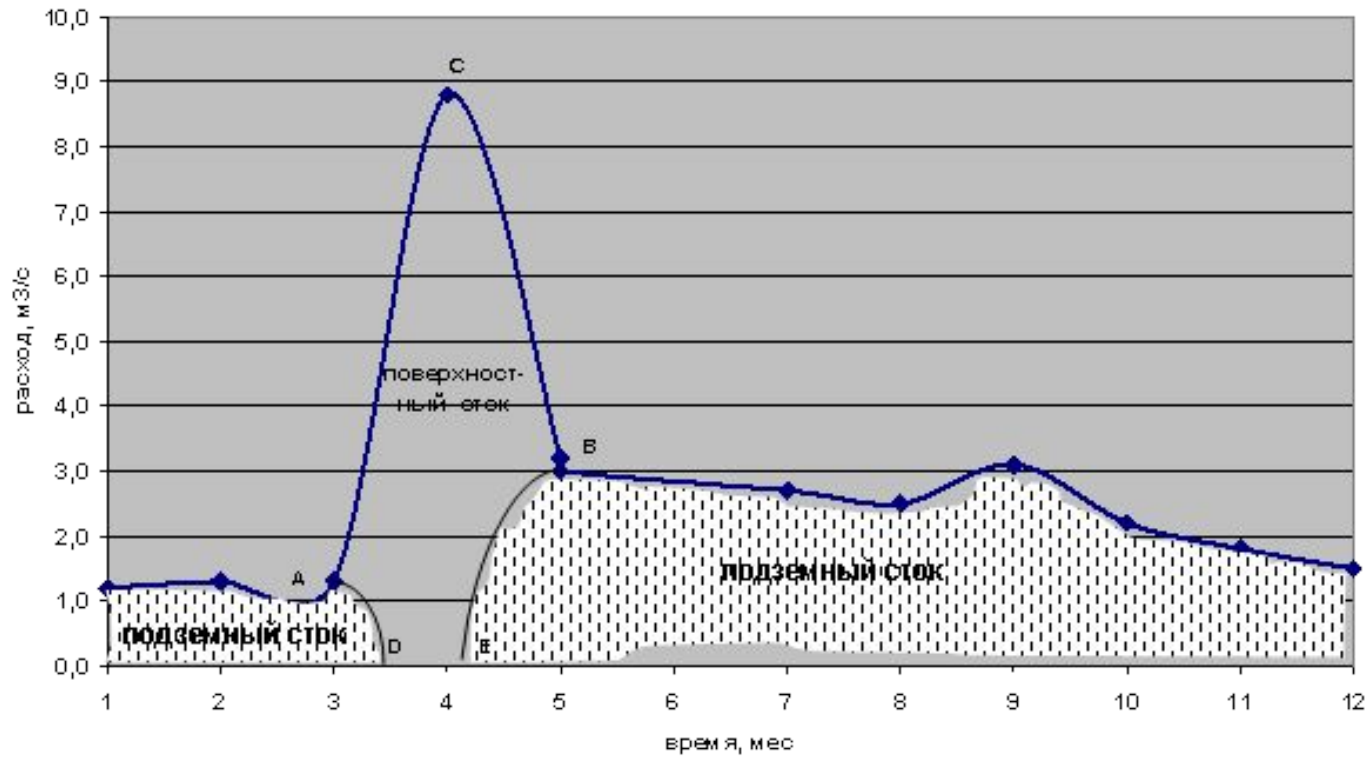
- **Модуль стока** - это количество воды (в литрах), стекающее в секунду с квадратного километра площади бассейна (водосбора). Модуль стока воды обозначают через M , л/

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

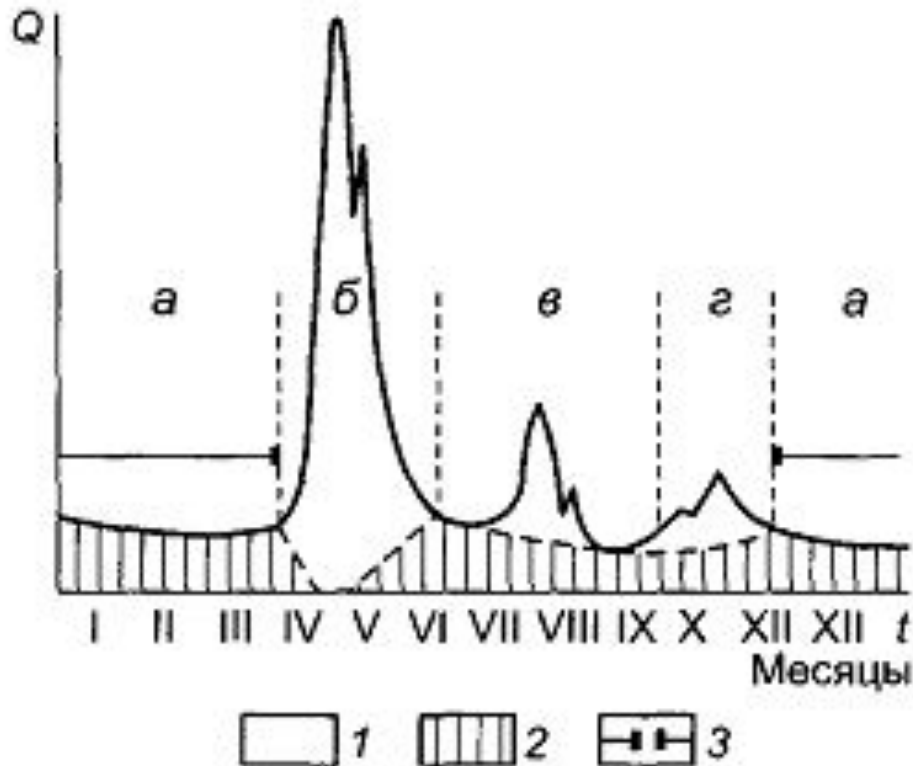
- **Коэффициент стока**- отношение величины слоя стока к количеству выпавших на площадь водосбора атмосферных осадков: $K_{ст} (\eta) = y/x$
- **Модульный коэффициент** (K_i) – отношение стока за какой-либо период (M_i) к его норме (M_0):
- $K_i = Q_i/Q_0 = M_i/M_0 = W_i/W_0 = y_i/y_0$

Гидрограф

Гидрограф реки X

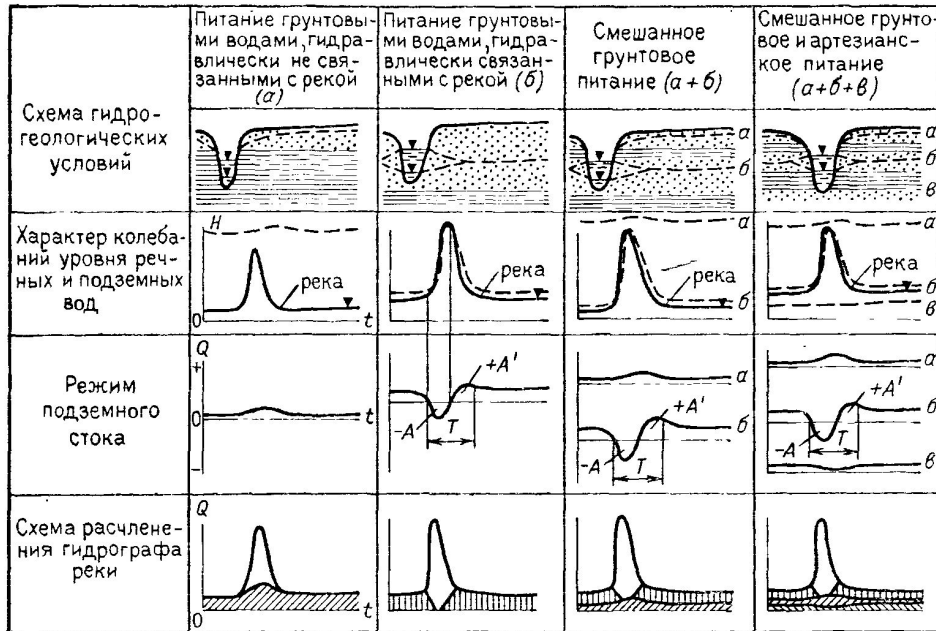


Расчленение гидрографа по видам питания



- 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 — водупорные 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;

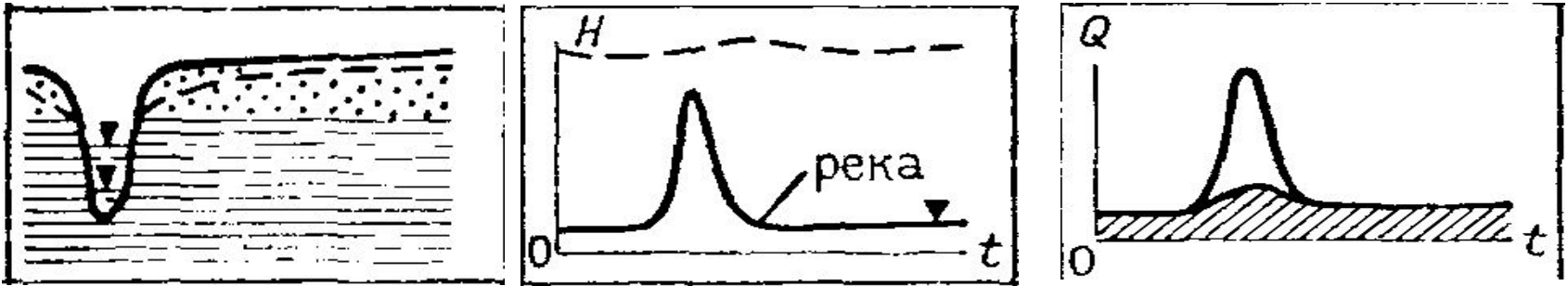
б) ГВ гидравлически связаны с рекой;

в) схема а)+б); г)

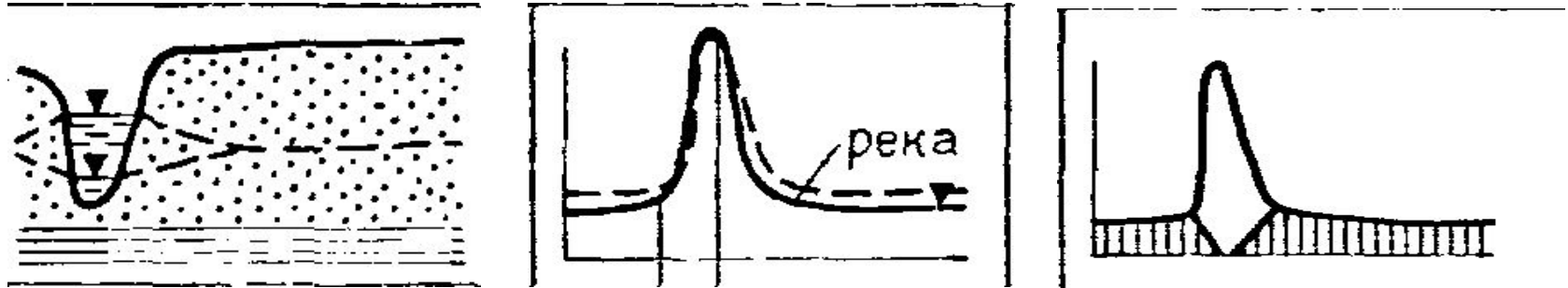
грунтовое и артезианское питание реки

Река дренирует один водоносный горизонт

- а) ГВ не имеют связи с рекой;

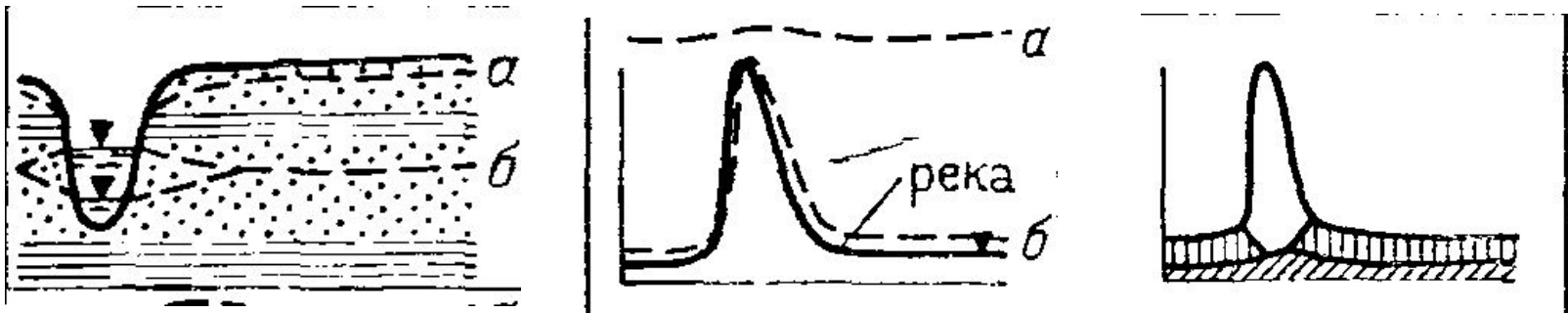


- б) ГВ гидравлически связаны с рекой;

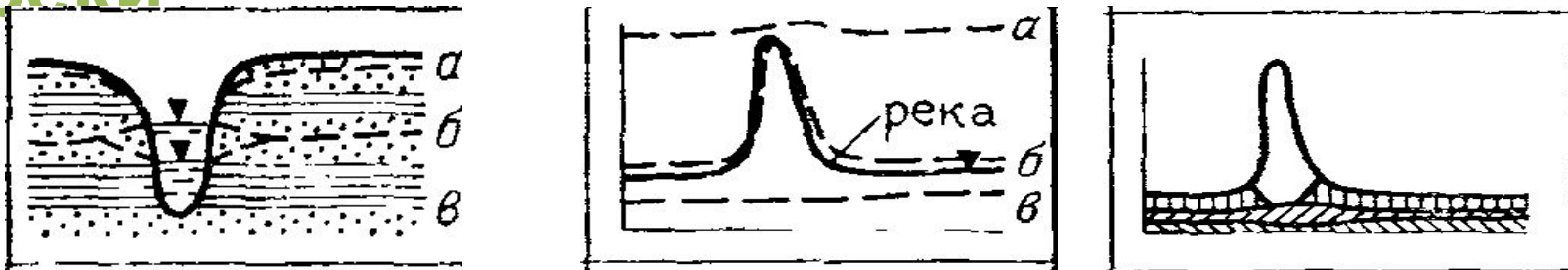


Река дренирует ГВ и АВ

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 (м^3), площадь гидрографа (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 (л/с) на площадь водосборного бассейна реки (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 (м^3) на площадь водосборного бассейна (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 бал $X + K \pm \Delta Y - Z_1 - Z_2 \pm \Delta W = \pm \Delta U,$

где X — атмосферные осадки; K — конденсация; ΔY — 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; ΔW — разность между просачиванием поверхностных вод через поверхность земли и притоком подземных вод на поверхность (подземный приток и отток); ΔU — 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 ΔM — изменение влагозапасов в почве и зоне аэрации; ΔU — изменение запасов влаги в водоносных горизонтах, дренируемых рекой; ΔS_c , ΔS_p , $\Delta S_{оз}$, ΔS_6 — изменение запасов влаги соответственно в снеге и ледяной корке, в русловой сети бассейна, в озерах и водохранилищах на территории бассейна, в болотах; η — 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.

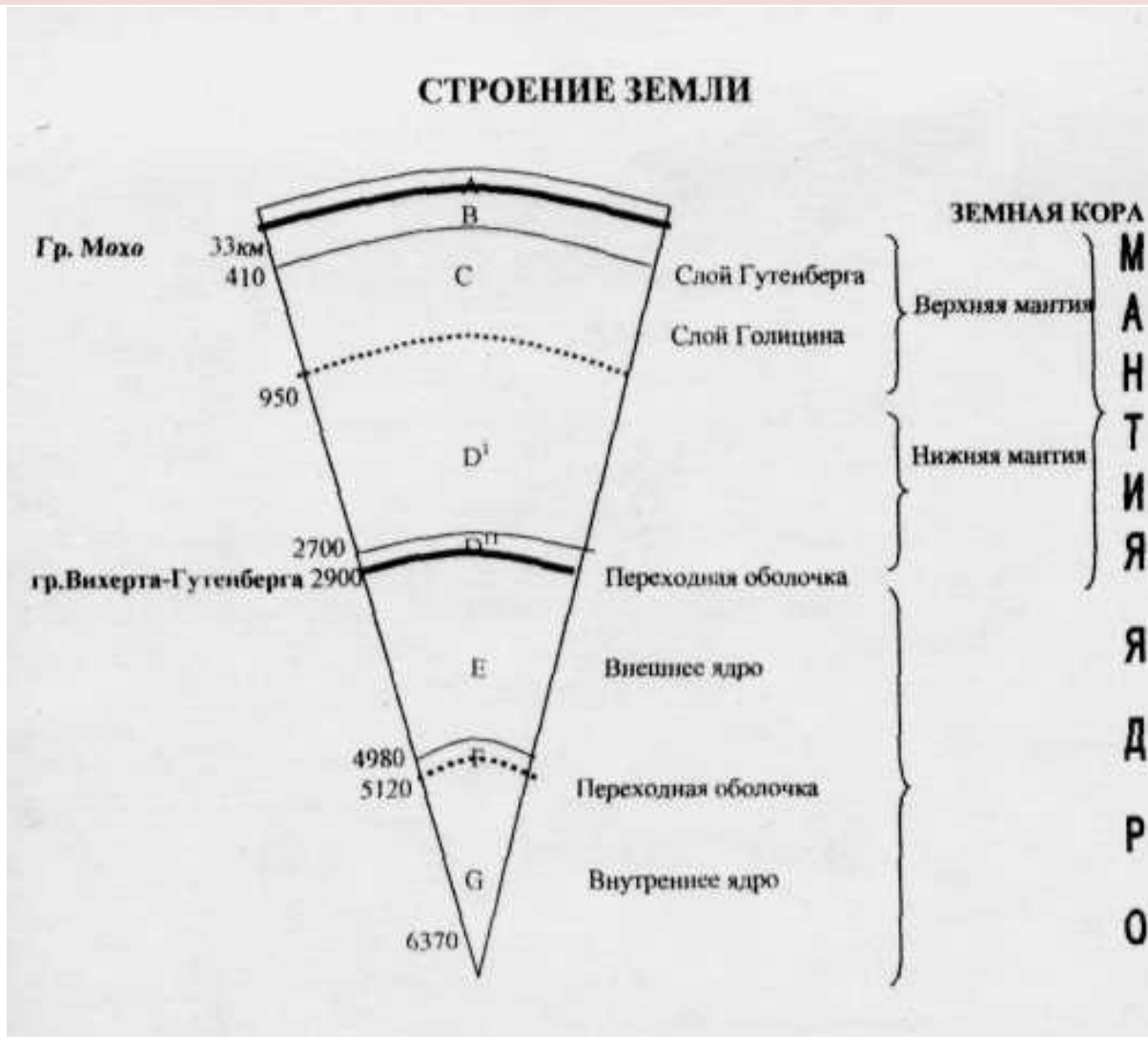
- Для составления такого баланса необходимо:
- Изучить ГГУ в долине реки
- Провести ОФР для оценки параметров водоносных горизонтов и разделяющих пластов
- Наблюдения за режимом ПВ для выяснения условий взаимосвязи с рекой
- Провести гидрологические наблюдения
- Провести метеонаблюдения

ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОСФЕРА

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

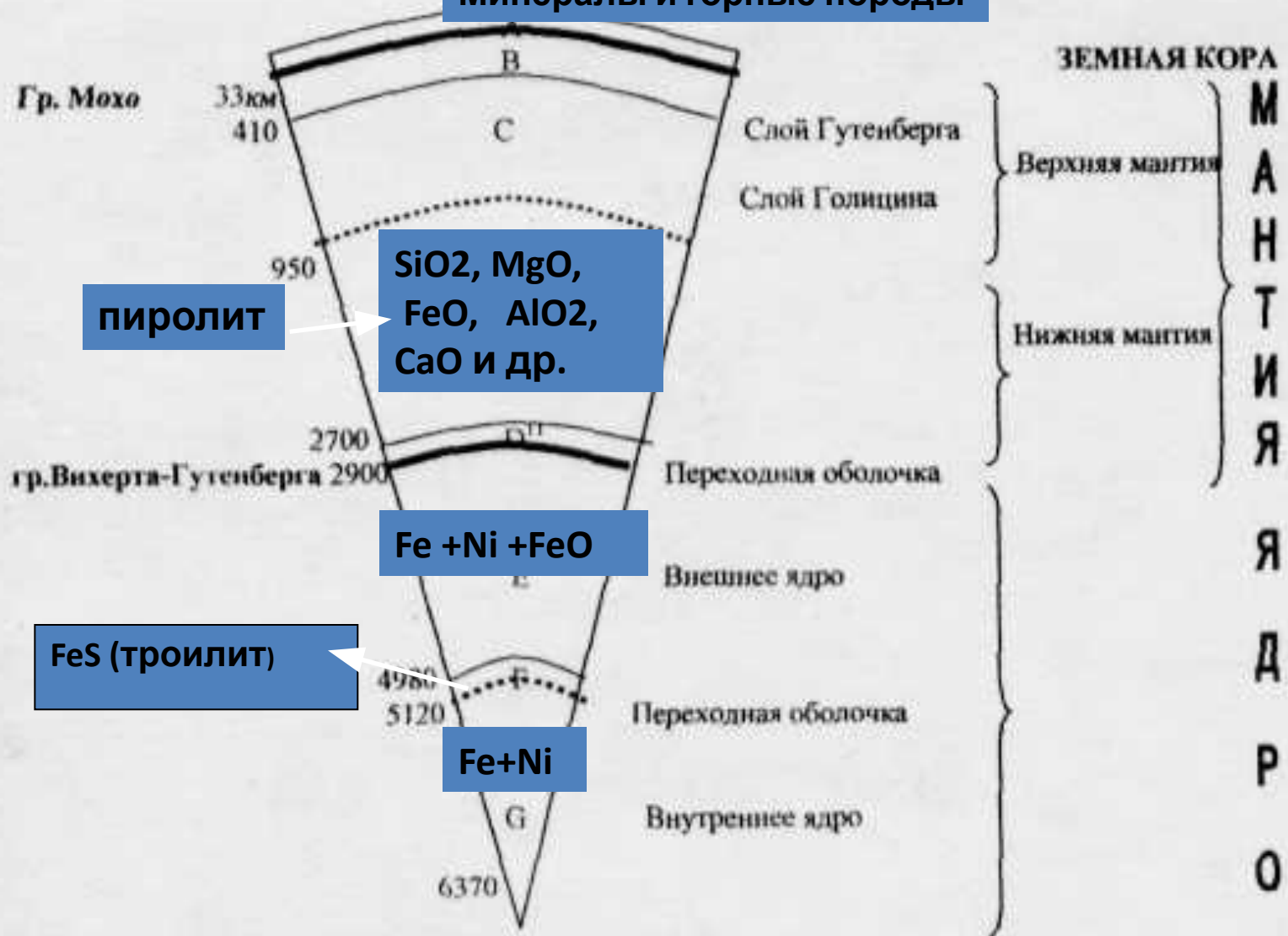
- Строением и историей развития
- Термодинамическим режимом
- Составом и свойствами горных пород
- Рельефом и гидрографией
- Климатическими условиями

Внутренне строение Земли



Химический состав геосфер Земли

Минералы и горные породы

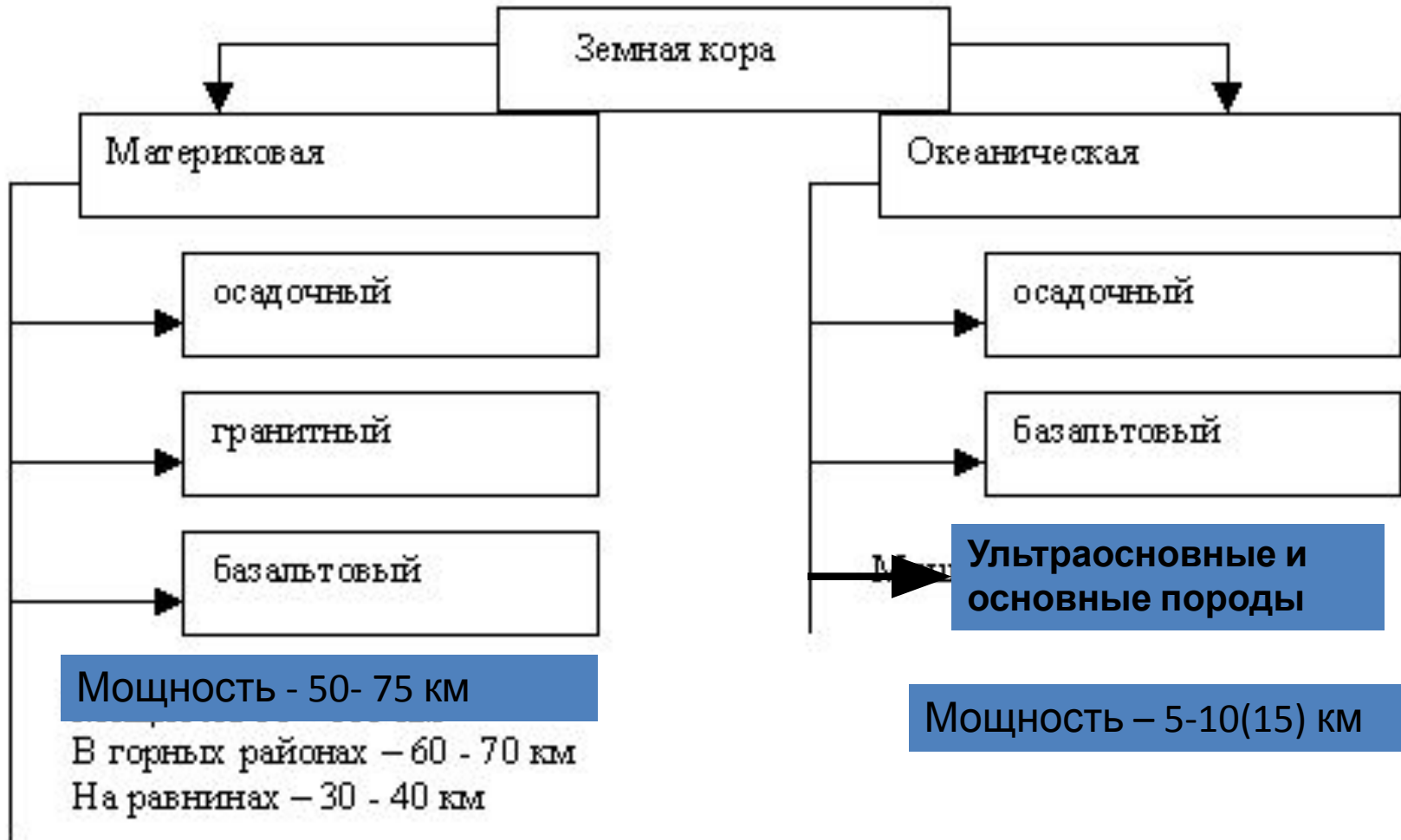


Строение земной коры

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)



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

Строение подземной гидросферы

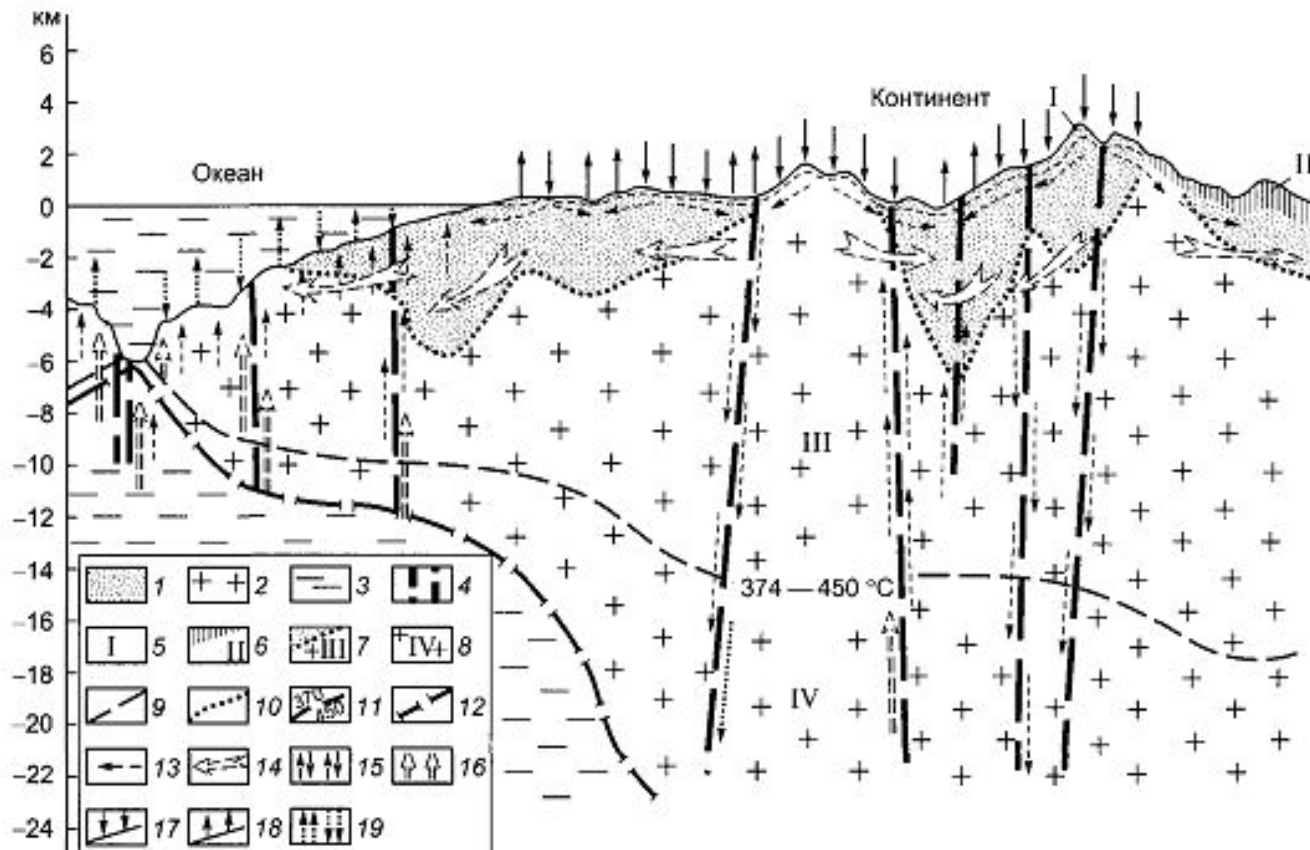


Рис. 2.3. Принципиальный гидрогеологический разрез земной коры; 1 — осадочные породы земной коры; 2 — гранитный и базальтовый слой земной коры; 3 — верхняя мантия; 4 — зоны глубоких тектонических разломов; 5 — зона аэрации (вне масштаба); 6 — криолитозона (геокриолитозона); 7 — зона полного насыщения; 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/см³, 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)

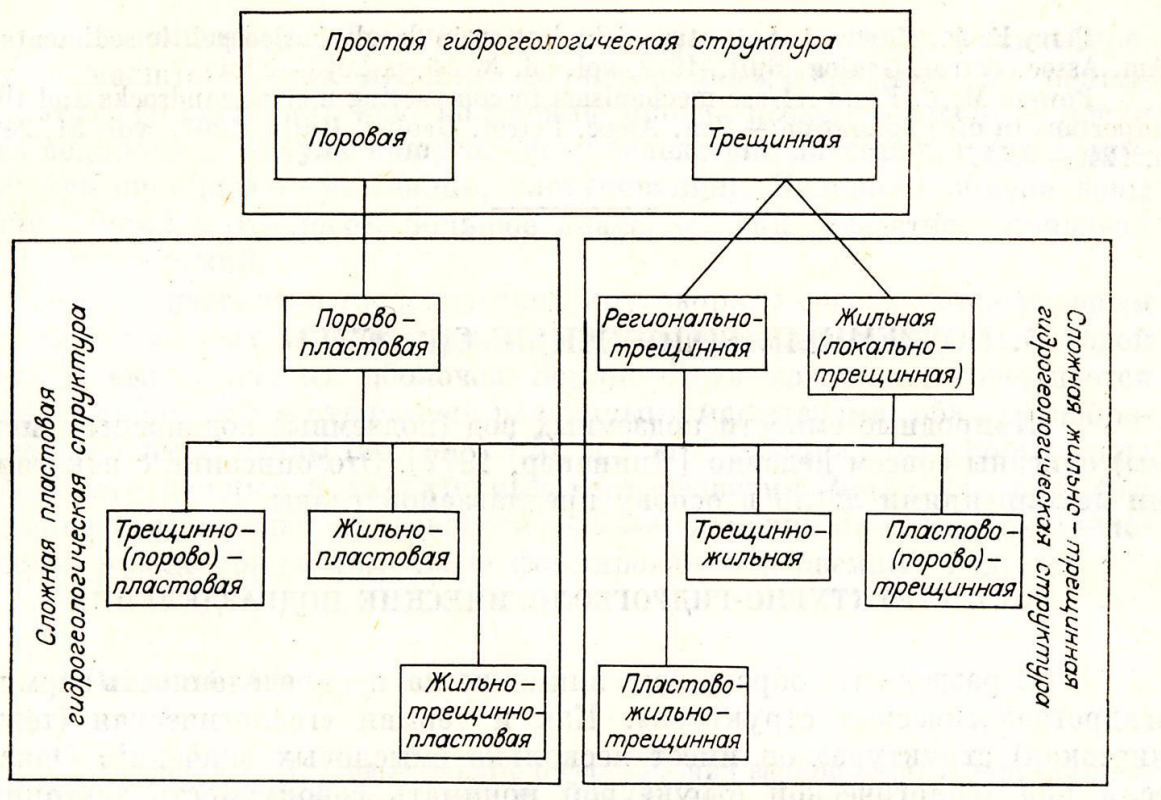


Рисунок 3.1.
Структурно-гидрогеологические подразделения
(по Е.В.Пиннекеру)