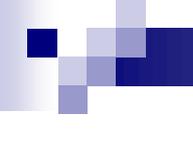




# ***Гидрология подземных вод***



***Происхождение  
подземных вод.  
Виды воды в порах  
грунта. Водные  
свойства грунтов.***

***Подземные воды*** -  
совокупность воды (в различном  
агрегатном состоянии) в земной  
коре

- находятся во взаимодействии с  
атмосферой и поверхностными водами и  
участвуют в круговороте воды

# Подземные воды

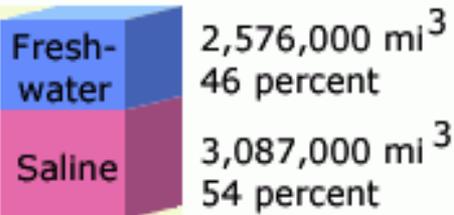
## Earth's Water

Total      Freshwater

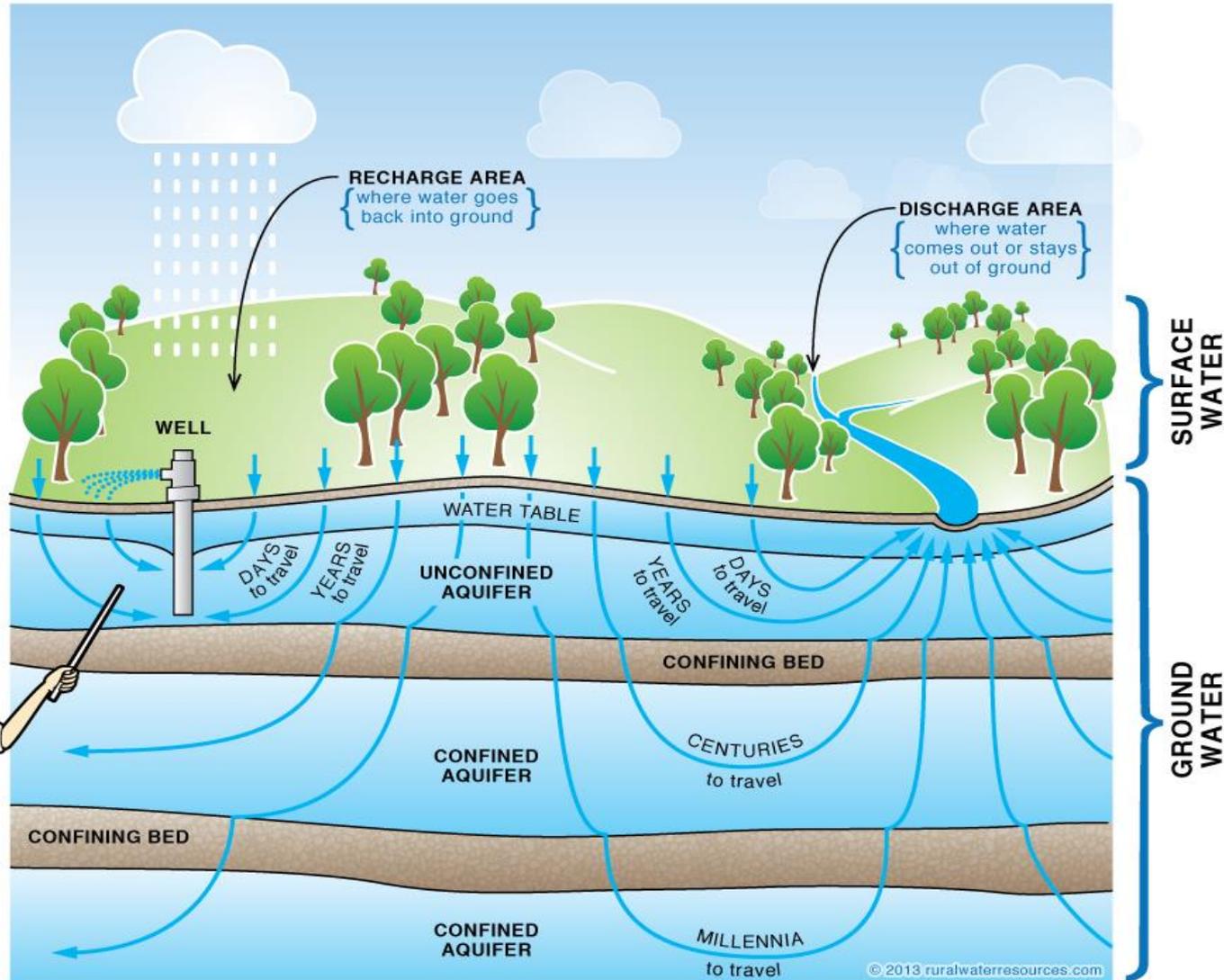


1.7%      30.1%  
Ground water

## Earth's Ground Water



## Ground versus Surface Water



# Происхождение подземных вод

- **экзогенное** (их источник – водные объекты на поверхности суши и влага атмосферы)
- **эндогенное** (их источник – недра Земли)

# Экзогенные типы подземных вод

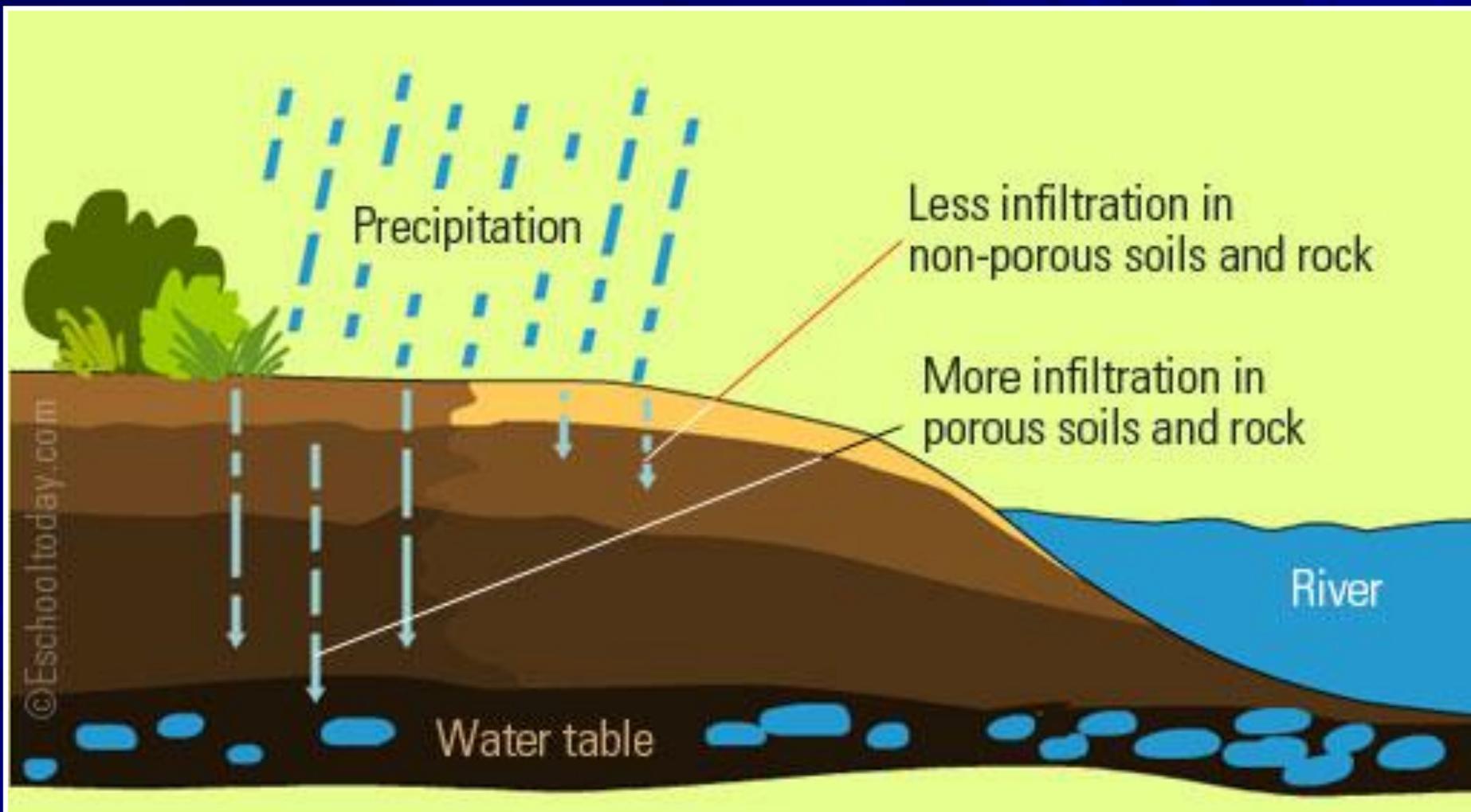
- **Инфильтрационные** (просачивание атмосферных, речных, морских и озерных вод)
- **Конденсационные** (образование капельно-жидкой воды в процессе конденсации водяного пара, проникающего с атмосферным воздухом в пустоты горных пород.)
- **Седиментационные** (захоронение морской и океанической воды в донных илах при их накоплении, погружении и преобразовании в осадочные горные породы,)

# Характеристика инфильтрационных подземных вод

- инфильтрация атмосферных осадков, речных, озерных и морских вод
- поступление влаги через поры и трещины



# Инфльтрация



# ***Характеристика конденсационного типа подземных вод***

- **конденсация водяного пара в порах  
грунтов**
- **доминирует в условиях пустынь**

# **Характеристика седиментационных подземных вод**

■ **вода в отложениях  
морей и океанов**

■ **«иловые»  
растворы**



Озеро Эльтон

# Эндогенные подземные воды

- **Дегидратационные** (формируются вследствие дегидратации минералов)

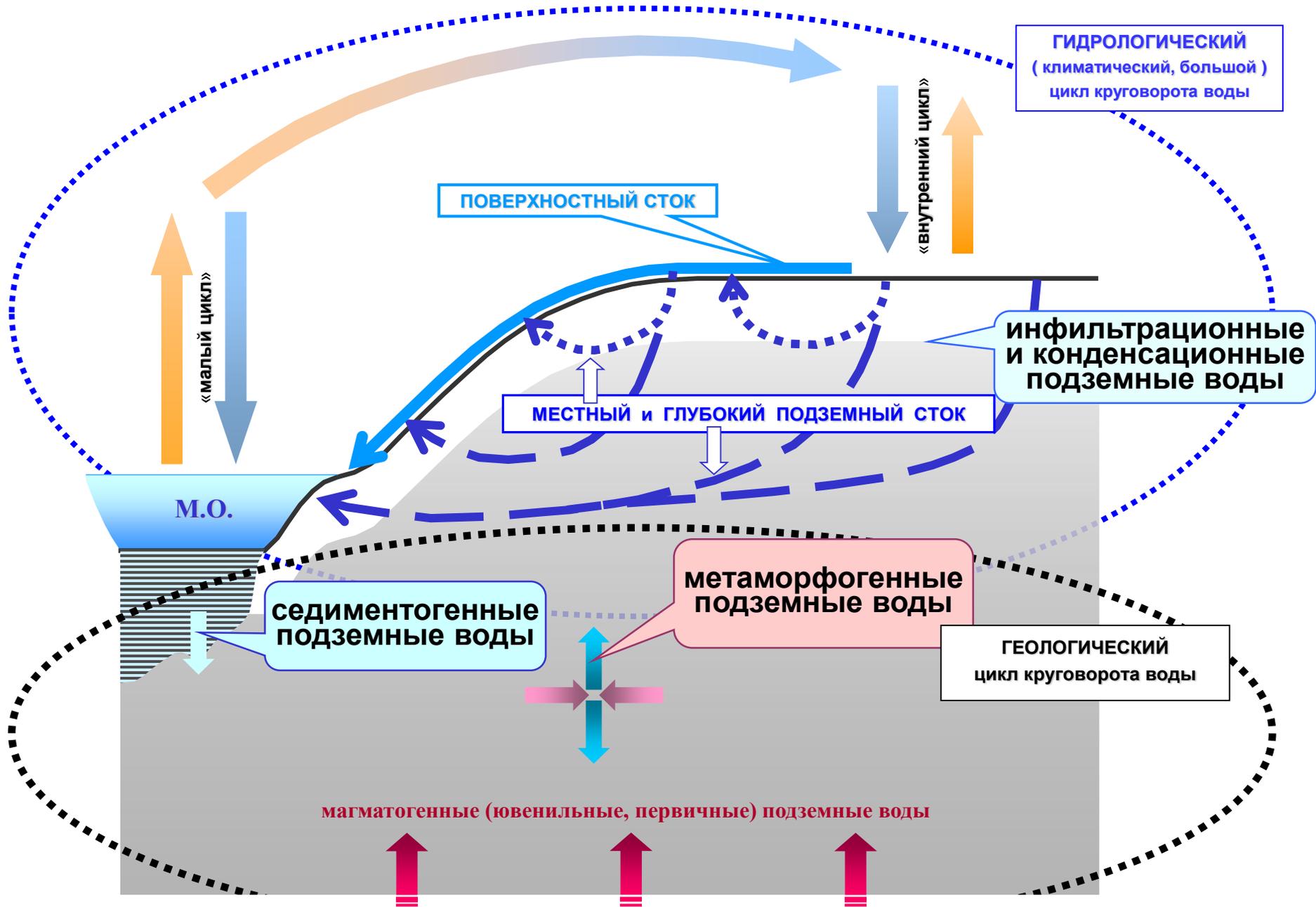
Связь образования подземных вод с обезвоживанием горных пород в процессе регионального метаморфизма при высоких температурах и давлениях в земных недрах

- **«Ювенильные»** воды в зонах современного вулканизма (поступают из магматических очагов)

**Ювенильная теория** объясняет образование подземных вод в процессе зонного плавления вещества Земли за счёт летучих компонентов базальтовой (наиболее легкоплавкой) магмы, содержащей воду и в молекулярном, и в диссоциированном виде.

Полагают, что ювенильными водами сформирована практически вся водная оболочка Земли, хотя средняя (в геологическом времени) интенсивность этого процесса относительно невелика - порядка 0.5 км<sup>3</sup>/год, что в 3-4 раза меньше современного потребления Москвы на коммунальные и технические нужды.

Важно, однако, что этот процесс приводит к новообразованию воды – в отличие от всех вышеназванных, в которых происходит лишь перераспределение воды в пределах гидросферы.



# **Физические свойства грунта**

Горные породы как коллектор, содержащий подземные воды, обладают двумя «фундаментальными» водно-физическими свойствами –

- **емкостью** (способность вмещать определенное количество воды) и
- **проницаемостью** (способность пропускать движущуюся воду).

# *Характеристики физических свойств грунтов*

■ ПЛОТНОСТЬ

■ ПОРИСТОСТЬ И ТРЕЩИНОВАТОСТЬ

■ ВЛАЖНОСТЬ

■ ВЛАГОЕМКОСТЬ

# ***Плотность грунта***

$$\rho_{\Gamma} = m_{\Gamma} / V_{\Gamma}$$

**$m_{\Gamma}$  – масса грунта, кг**

**$V_{\Gamma}$  – объем грунта, м<sup>3</sup>**

# **Соотношение плотности и минерального состава грунта**

<b>Минеральный состав грунта</b>	<b>Плотность, кг/м<sup>3</sup></b>
<b>песок</b>	<b>2650</b>
<b>супесь</b>	<b>2700</b>
<b>суглинок</b>	<b>2710</b>
<b>глина</b>	<b>2740</b>

**Скважностъ  
(пористостъ и  
трещиноватостъ)**

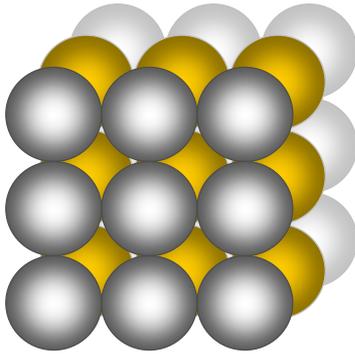
$$p = (V_n / V_r) \cdot 100\%$$

$V_n$  – обем пор,

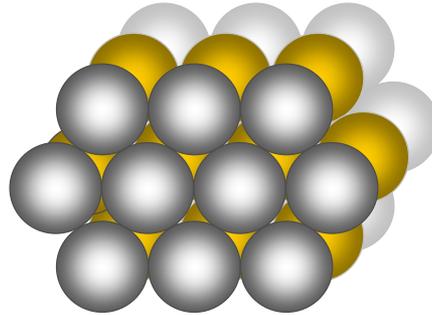
$P$  - коэффициент пористости

## ПОРИСТОСТЬ ( РЫХЛЫЕ, НЕСВЯЗНЫЕ ПОРОДЫ )

«Идеальная» горная порода

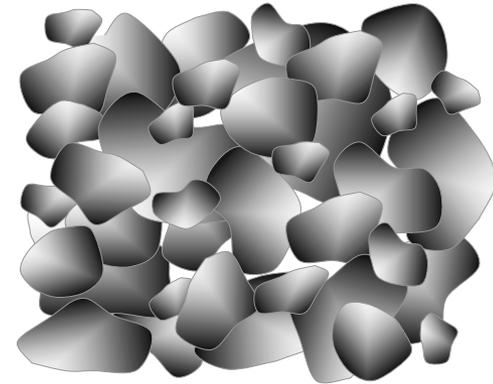


«Кубическая» (неплотная) упаковка:  
максимальная величина  
общей пористости (**47.6%**)



«Ромбическая» (плотная) упаковка:  
минимальная величина  
общей пористости (**26%**)

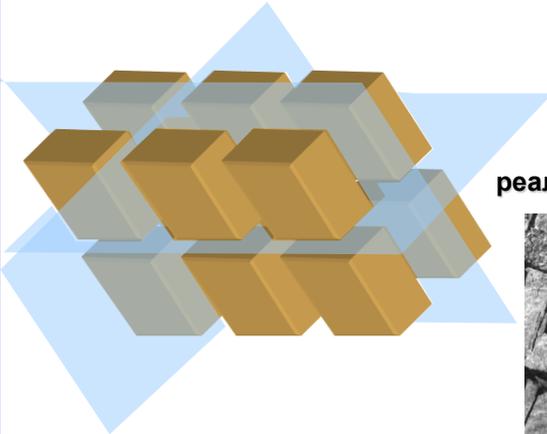
«Реальная» горная порода



Диапазон изменения общей пористости **10...80%**

## ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ( СКАЛЬНЫЕ ПОРОДЫ )

геометрическая модель 3-х систем трещин

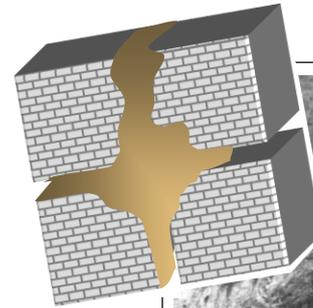


реальный трещиноватый массив



Диапазон изменения общей трещинной пустотности **1...10%**

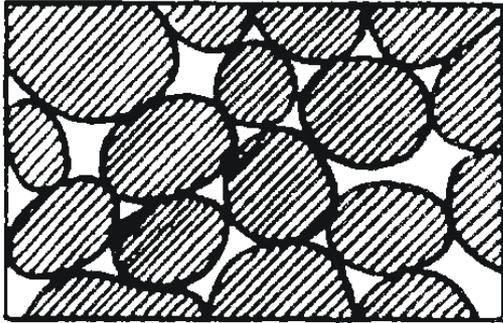
## КАВЕРНОЗНОСТЬ ( РАСТВОРИМЫЕ ПОРОДЫ )



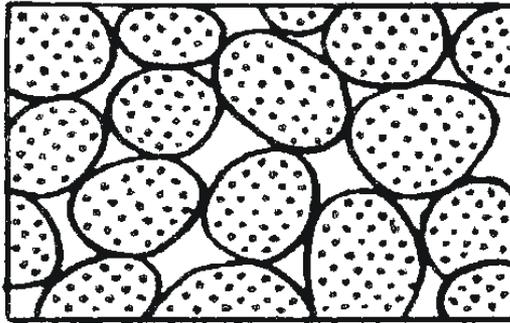
Каверны размером от сантиметров до десятков и сотен метров развиваются за счёт растворения и выщелачивания карбонатных, сульфатных, хлоридных горных пород (**КАРСТ**)

# Виды пористости

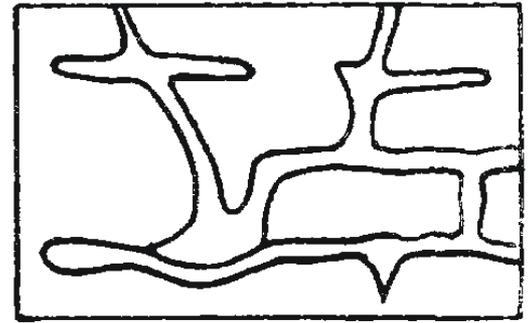
а



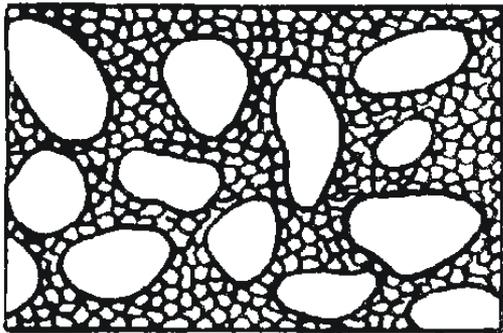
б



в



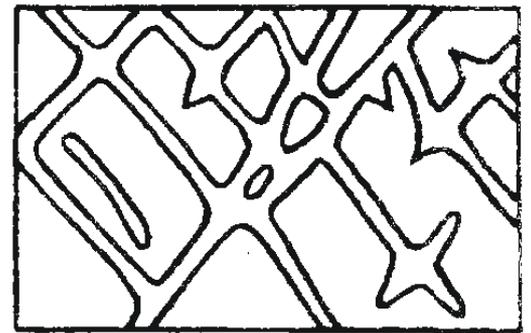
г



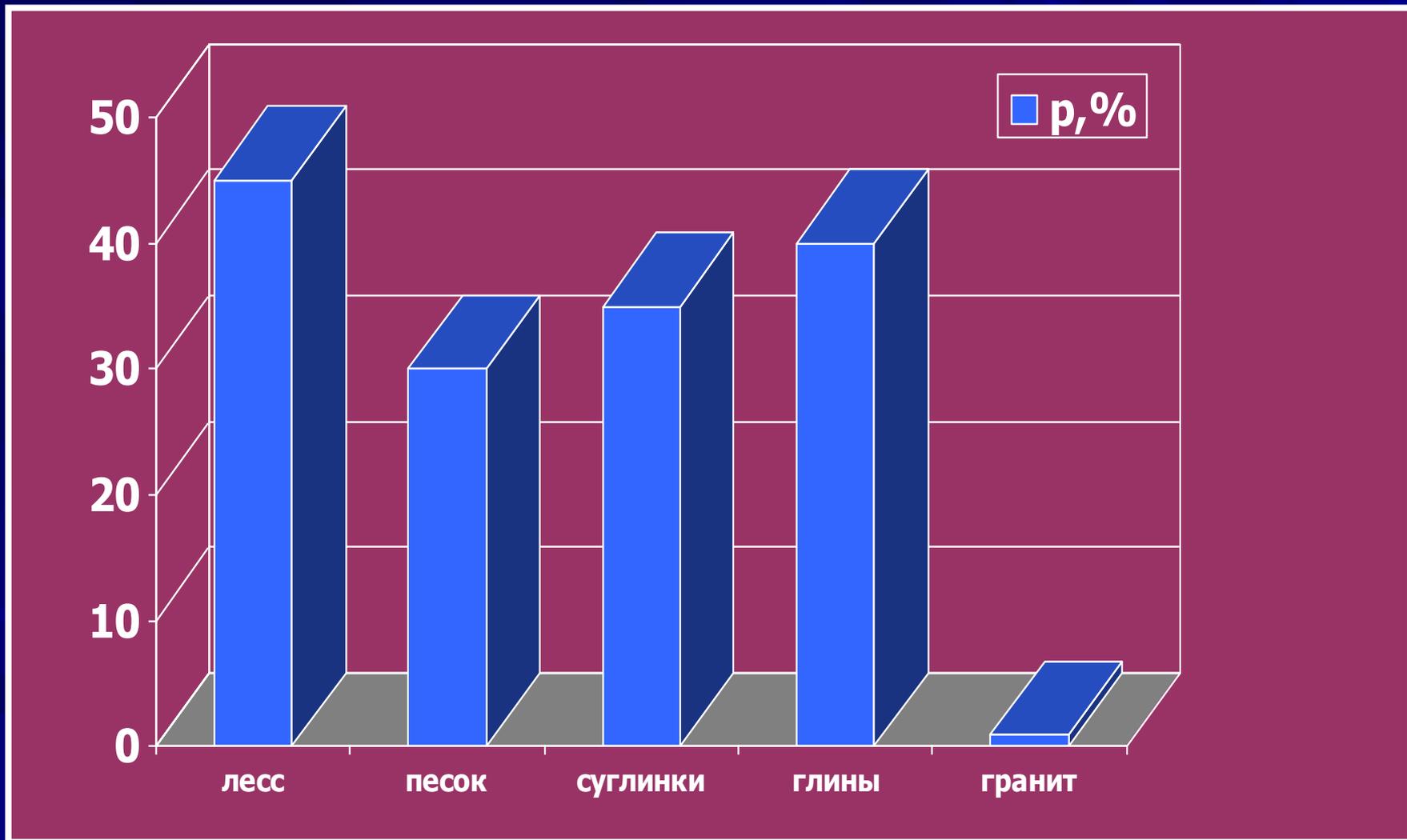
д



е



# Изменение коэффициента пористости



# ***Виды воды в порах грунтов***

- **связанная**
- **капиллярная**
- **гравитационная (свободная)**
- **лед**
- **водяной пар**

## Связанная вода

Гипс



- **ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННАЯ ВОДА** – ВХОДИТ В состав минералов (гипс –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) – выделяется при высокой температуре (примерно 200-400°C)
- **ФИЗИЧЕСКИ СВЯЗАННАЯ ВОДА** – удерживается на поверхности частиц молекулярными силами

■ Глауберова соль (мирабилит) —  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , десятиводный кристаллогидрат (декадрат) сульфата натрия.



# Схема расположения молекул в пределах диффузионного слоя твердой частицы

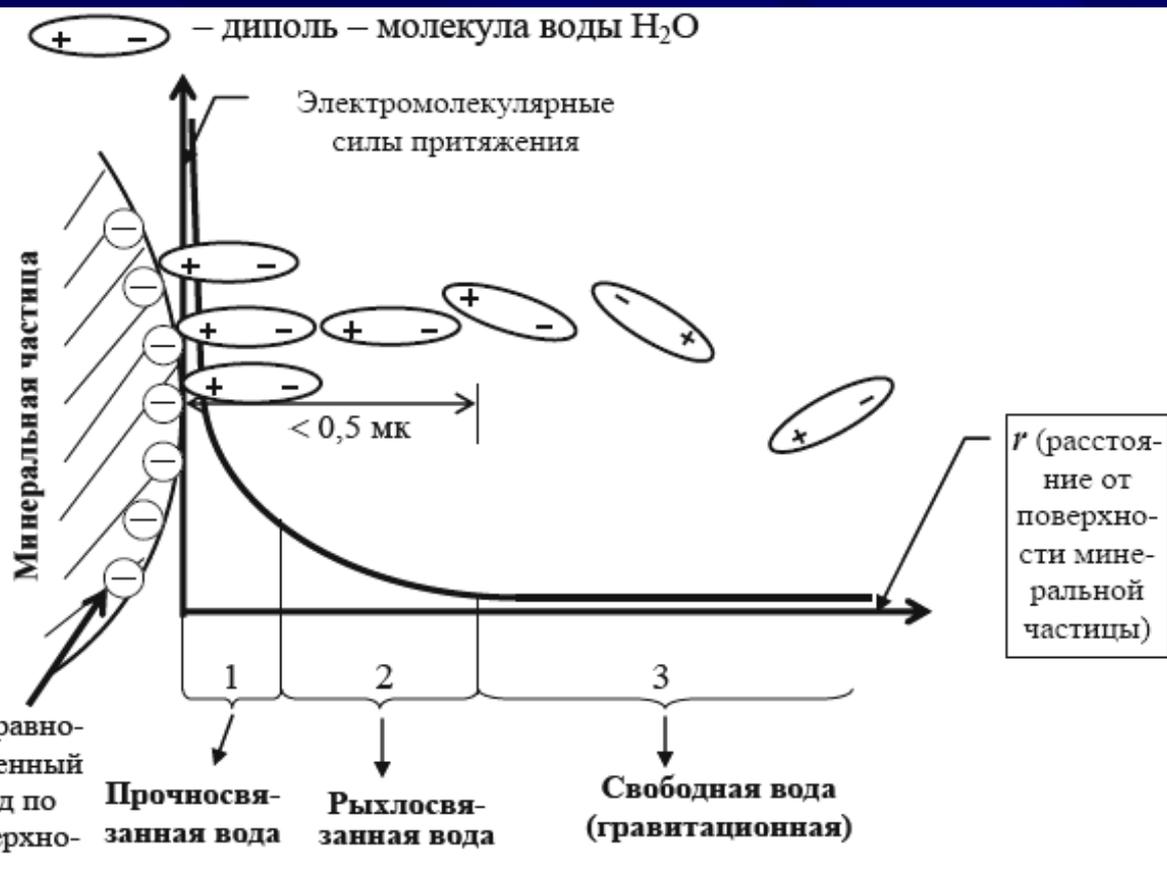
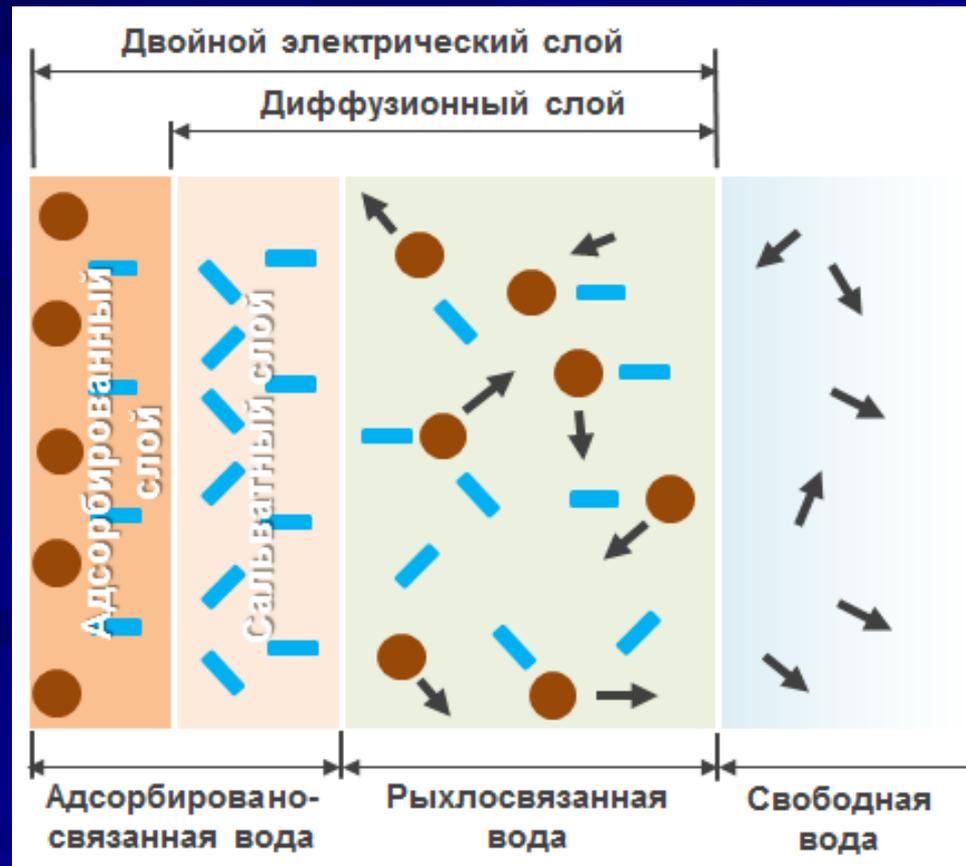


Схема взаимодействия сил ( $P$ ) в система твердая частица-вода:

- 1 — прочносвязанная вода;
- 2 — рыхлосвязанная вода.
- 3 — свободная вода

# Физически связанная вода

- **гигроскопическая** (прочносвязанная)
- **пленочная** (рыхлосвязанная)



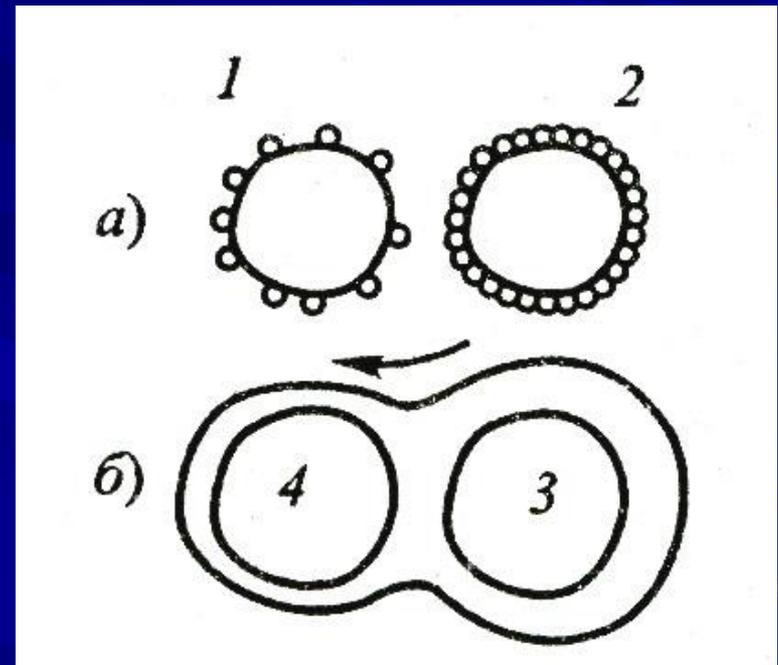
# Физически связанная вода

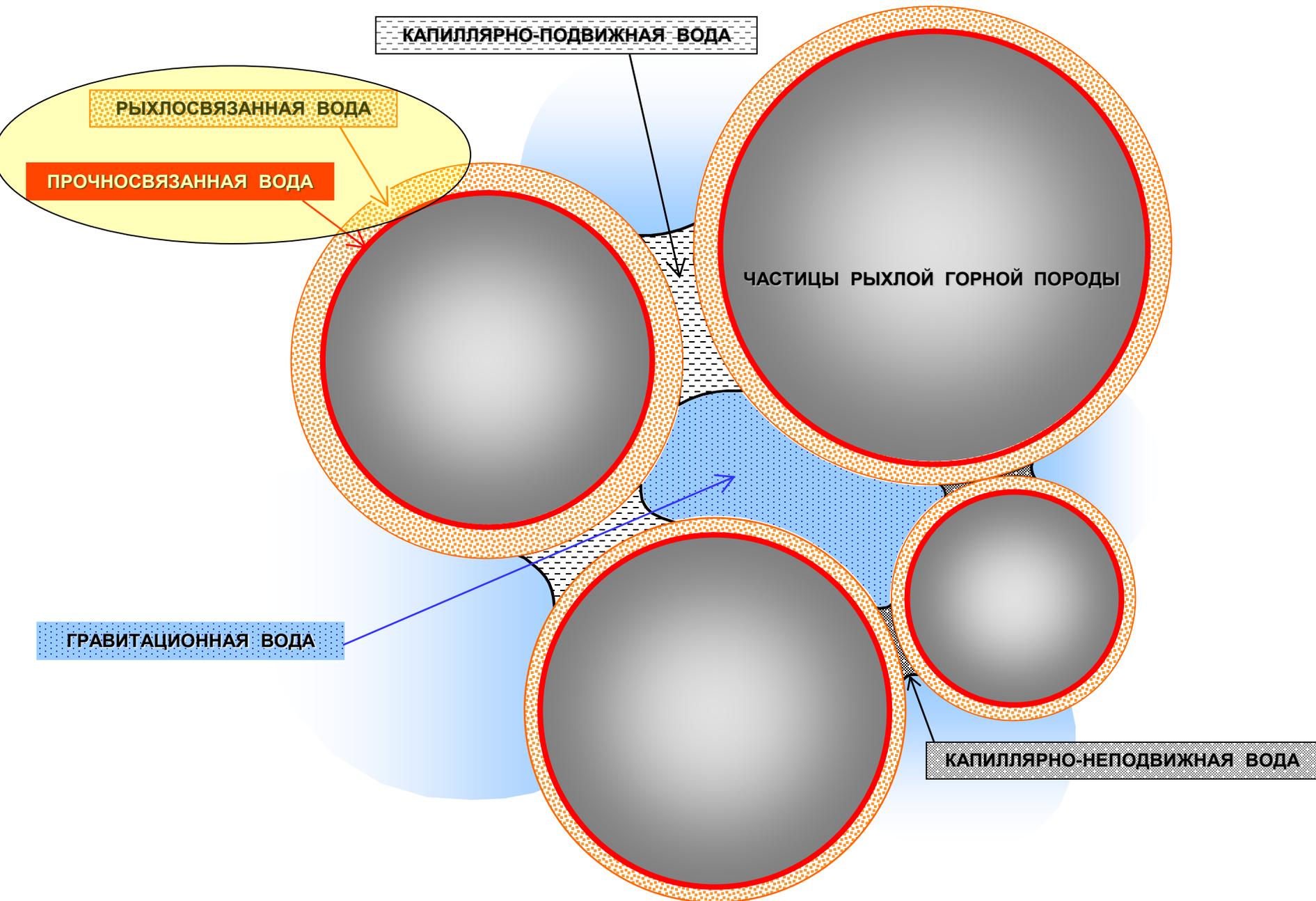
■ гигроскопическая вода (а) (прочносвязанная)

■ пленочная вода (б) (рыхлосвязанная)

при неполной (1) и максимальной (2) гигроскопичности

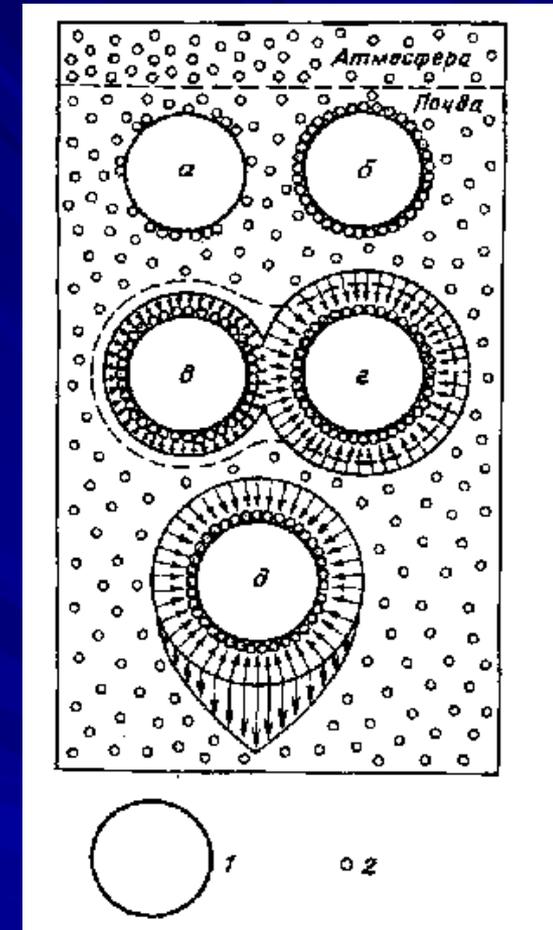
■ не входит в состав подземных вод





# Гигроскопическая вода

- сорбируется частицами грунта
- удерживается молекулярными силами
- толщина слоя не больше диаметра 1-20 молекул
- испаряется при температуре 90-120<sup>0</sup>С



образует моно- или полимолекулярную плёнку на поверхности частиц минерального скелета, имеет низкую растворяющую способность, плотность до 1.5 г/см<sup>3</sup>; аномальные вязкость, теплоёмкость, электропроводность; замерзает при температурах ниже -10 -80<sup>0</sup>С, не передаёт гидростатического давления и не передвигается под действием гравитации;

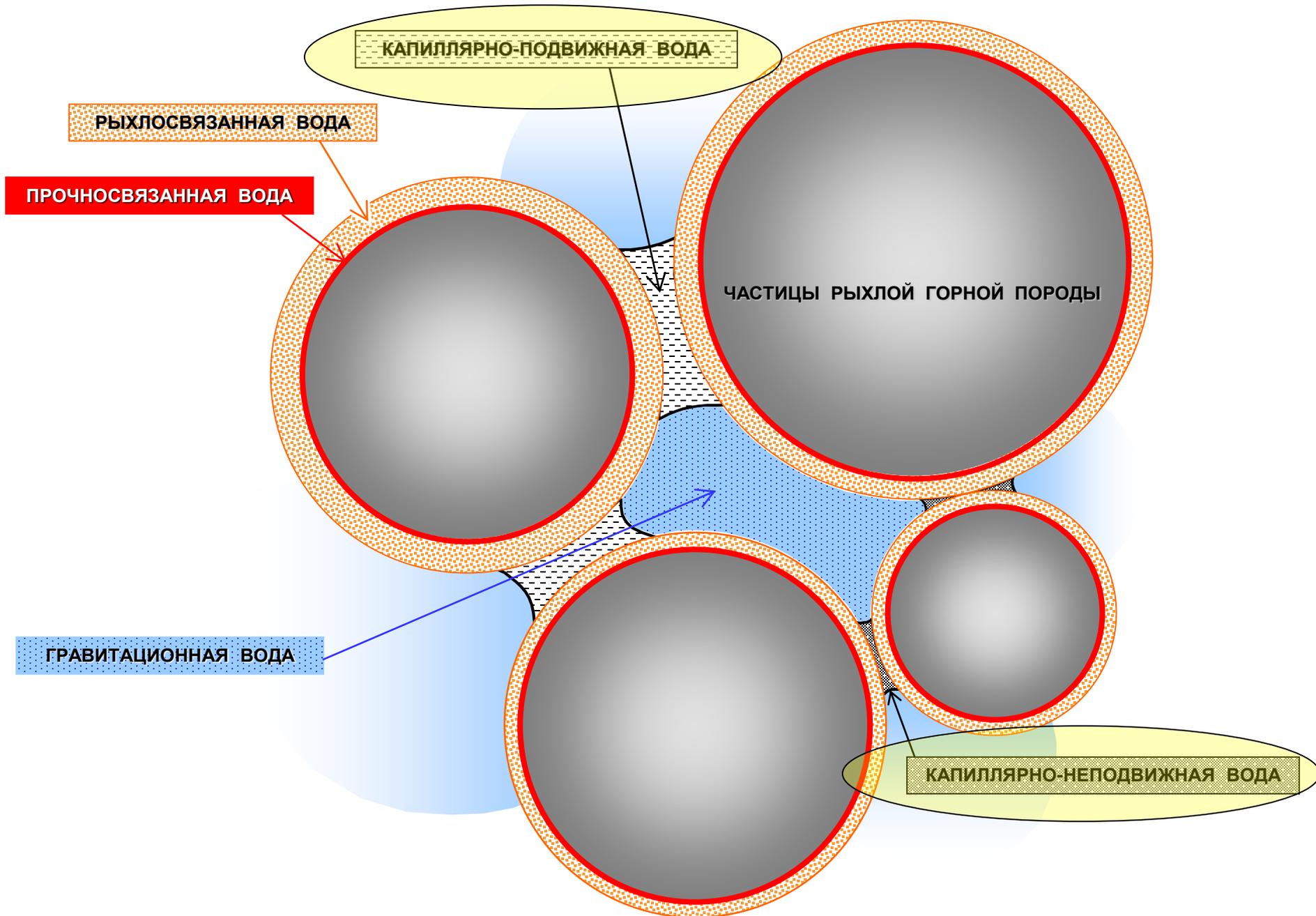
# *Пленочная вода*

- пленка над гигроскопической водой
- может перемещаться

Содержание **пленочной воды** в породах различно, причем в глинистых породах оно больше, чем в песчаных, а в мелкозернистых больше, чем в крупнозернистых.

Максимальное ее содержание составляет (%):  
для песков 1- 7; супесей 9-13; суглинков 15-23; глин 25-40.

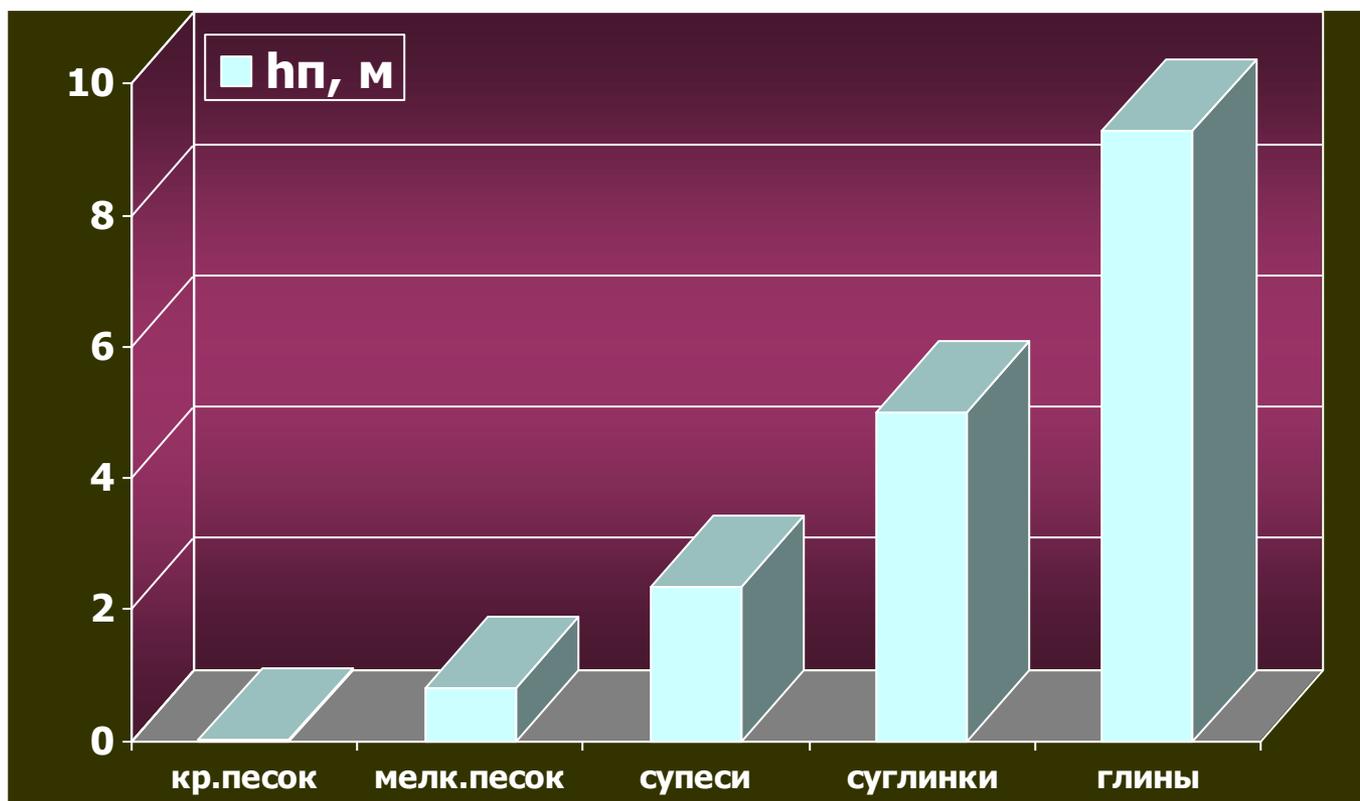
образует плёнку в области двойного электрического слоя; замерзает при небольших отрицательных температурах, способна к постепенному выравниванию толщины «соседних» плёнок



# *Капиллярная вода*

- заполняет поры грунта
- перемещается под влиянием капиллярных сил
- определяет влажность грунта
- используется растениями
- входит в состав гидросферы

# Соотношение типов грунта и высоты капиллярного поднятия $h_{\text{п}}$



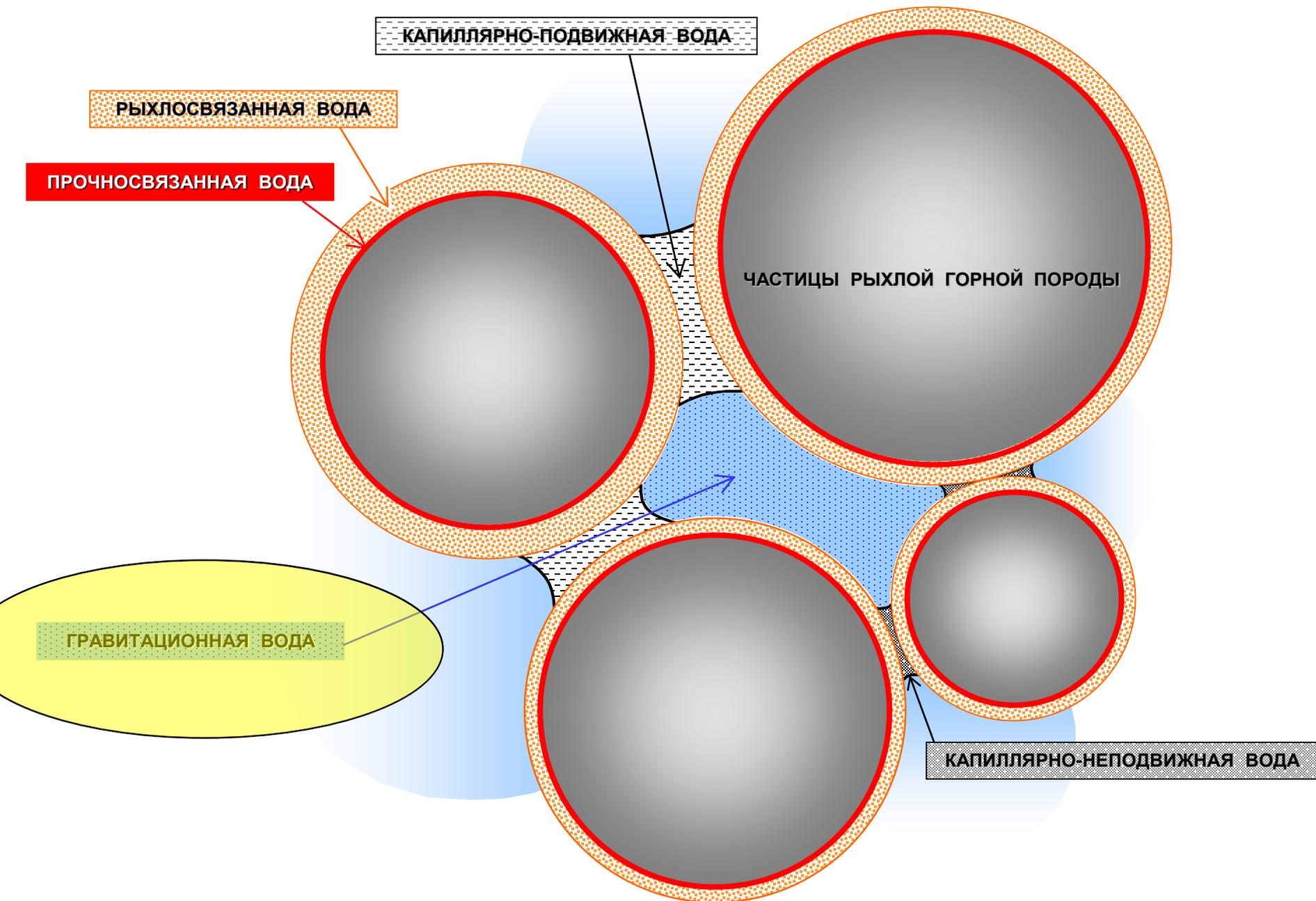
# Виды капиллярной воды

■ капиллярно-подвешенная

■ капиллярно-поднятая

■ капиллярно-разобшенная





# ***Гравитационная вода***

- **перемещается под действием силы тяжести в порах и трещинах**
  
- **ВХОДИТ В СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

**Свободная вода способна передвигаться под действием силы тяжести, ее количество в горной породе зависит от размера пор и трещин. В глинистых породах, где поры очень мелкие и обычно заполнены связанной водой, количество свободной воды невелико. Преобладает она в основном в крупнообломочных и трещиноватых породах.**

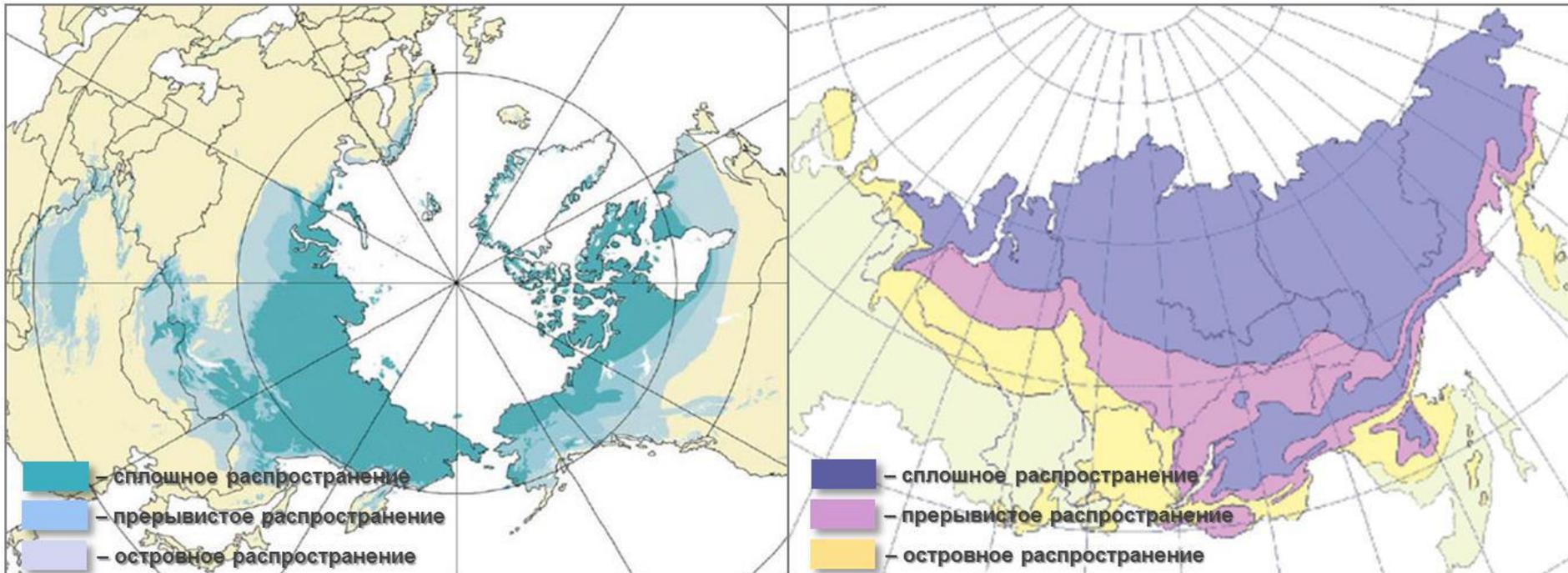
# Подземные льды



# Подземные льды

Северное полушарие

Россия



**Зоны сплошного, прерывистого и островного распространение вечной мерзлоты на территории суши Северного полушария и России**

# *Водяной пар в грунтах*

- заполняет поры при отсутствии в них воды
- перемещается под влиянием градиента давления воздуха
- ВХОДИТ в состав гидросферы

# Водные свойства грунтов

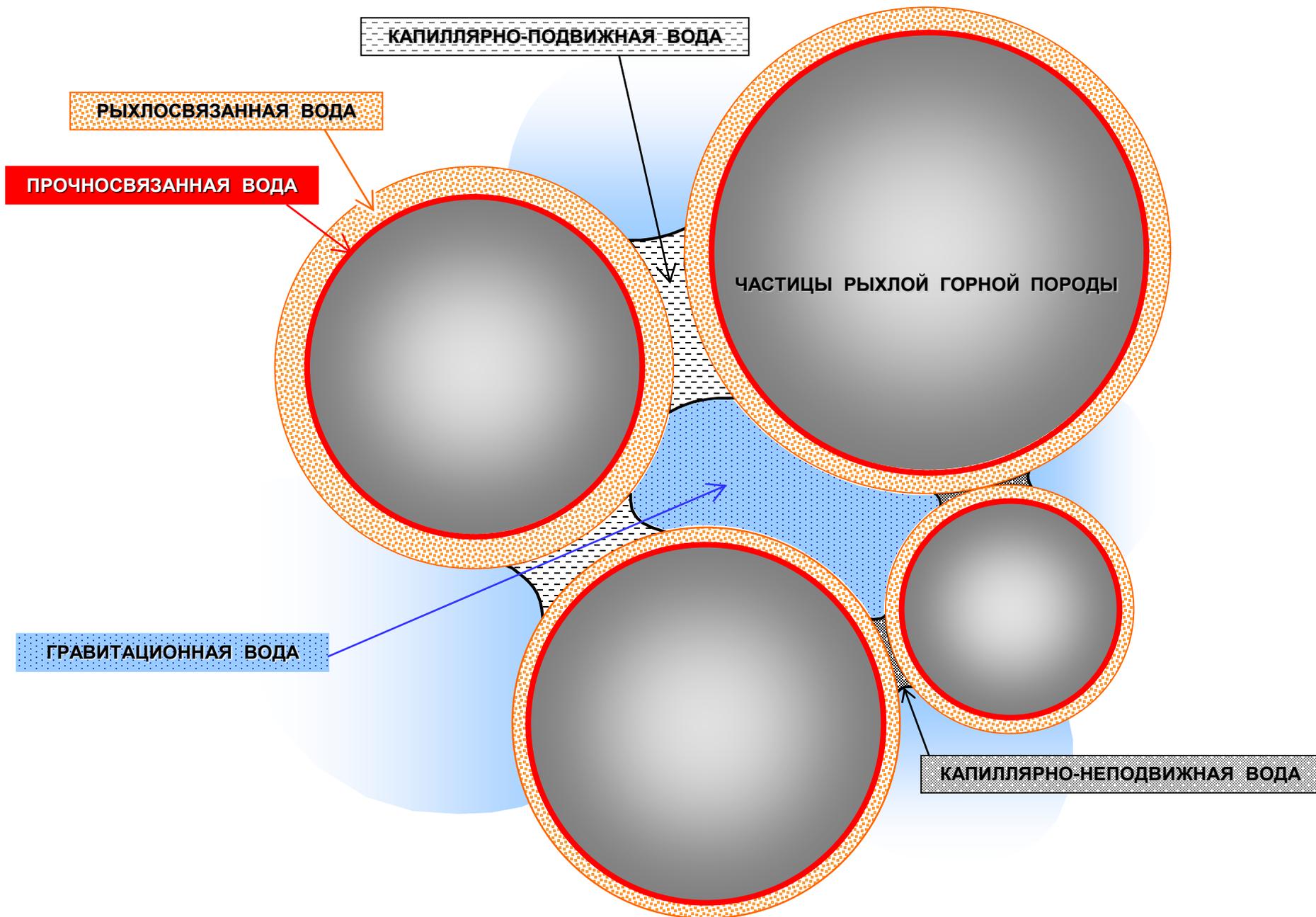
**Влажность  $W$**  – содержание воды в грунте (%)

$$W = 100m_B/m_C = 100(m_r - m_c)/m_c$$

$m_r$  – масса грунта и воды,

$m_c$  – масса высушенного грунта,

$m_B$  – масса воды в грунте



**ВЛАЖНОСТЬ**

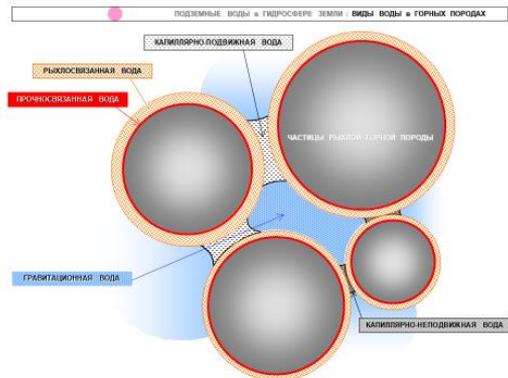
показатель **текущего состояния увлажнения** горной породы

**ВЛАГОЁМКОСТЬ**

— **константа** для горной породы, равная её влажности при максимально возможном содержании разных видов воды

Полная влагоёмкость  $W_0$

Гравитационная вода



Капиллярная влагоёмкость  $W_k$

Капиллярно-подвижная вода

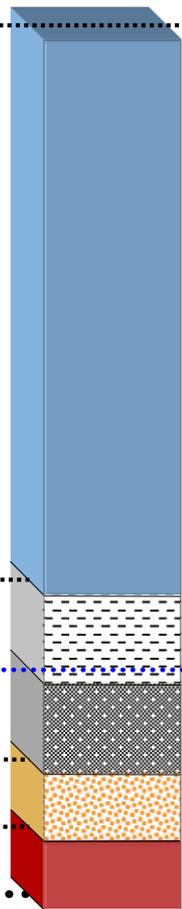
Капиллярно-неподвижная вода

Молекулярная влагоёмкость  $W_m$

Рыхлосвязанная вода

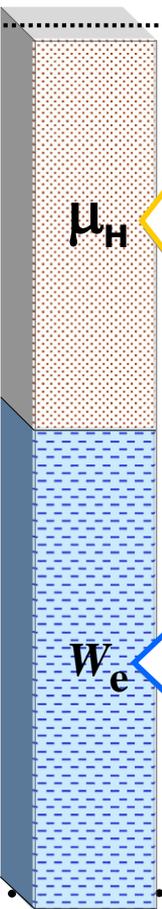
Гигроскопическая влагоёмкость  $W_g$

Прочносвязанная вода



**ВОДОУДАЧА**  
 отношение объема воды, вытекающей из полностью водонасыщенной породы путём свободного гравитационного стока, к общему объёму породы.  
 $(W_0 - W_m) > \mu > (W_0 - W_k)$   
 $\mu = W_0 - NB$   
 $\mu \approx$  активной пористости

**наименьшая «полевая» влагоёмкость**



**НЕДОСТАТОК НАСЫЩЕНИЯ**  
 отношение объема воды, необходимого для полного насыщения от состояния естественной влажности, к общему объёму породы.  
 $\mu_n = W_0 - W_e$

**ЕСТЕСТВЕННАЯ ВЛАЖНОСТЬ**  
 отношение общего объёма воды, содержащегося в данный момент в породе, к общему объёму породы



# *Водные свойства грунтов*

- **влагоемкость (%)** – способность грунта вмещать и удерживать воду
- **полная влагоемкость ( $W_0$ )** – максимально возможная влажность грунта
- **наименьшая влагоемкость ( $W_{нв}$ )** – количество гигроскопической, пленочной и капиллярной влаги, остающейся в грунте после окончания свободного стекания воды (она составляет для песков 3—5%, супесей 10—12, суглинков и глин 12—22%).

**ВЛАЖНОСТЬ**

— показатель **текущего состояния увлажнения** горной породы

**ВЛАГОЁМКОСТЬ**

— **константа** для горной породы, равная её влажности при максимально возможном содержании разных видов воды

Полная влагоёмкость  $W_0$

Гравитационная вода

Капиллярная влагоёмкость  $W_k$

Капиллярно-подвижная вода

Капиллярно-неподвижная вода

Молекулярная влагоёмкость  $W_m$

Рыхлосвязанная вода

Гигроскопическая влагоёмкость  $W_g$

Прочносвязанная вода

$\mu$

**ВОДОУДАЧА**

отношение объёма воды, вытекающей из полностью водонасыщенной породы путём свободного гравитационного стока, к общему объёму породы.

$$(W_0 - W_m) > \mu > (W_0 - W_k)$$

$$\mu = W_0 - \text{НВ}$$

$\mu \approx$  активной пористости

НВ

наименьшая «полевая» влагоёмкость

**НЕДОСТАТОК НАСЫЩЕНИЯ**

отношение объёма воды, необходимого для полного насыщения от состояния естественной влажности, к общему объёму породы.

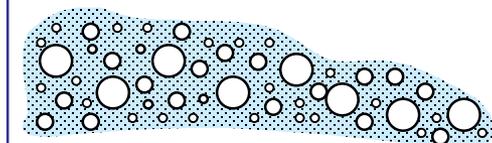
$$\mu_n = W_0 - W_e$$

$\mu_n$

**ЕСТЕСТВЕННАЯ ВЛАЖНОСТЬ**

отношение общего объёма воды, содержащегося в данный момент в породе, к общему объёму породы

$W_e$



Полная влагоёмкость

Водоотдача



Валуны, галька, гравий, пески...



Полная влагоёмкость

Водоотдача

Супеси, суглинки, глины...

# *Влажность и ее характеристики*

- дефицит влажности  $d = W_0 - W$
- размерность  $d$  - %

# ***Водопроницаемость грунта -***

*способность пропускать воду под действием силы тяжести или гидростатического давления*

- **зависит от размера и формы частиц  
грунта**
- **характеристика водопроницаемости -  
коэффициент фильтрации**

# *Коэффициент фильтрации,*

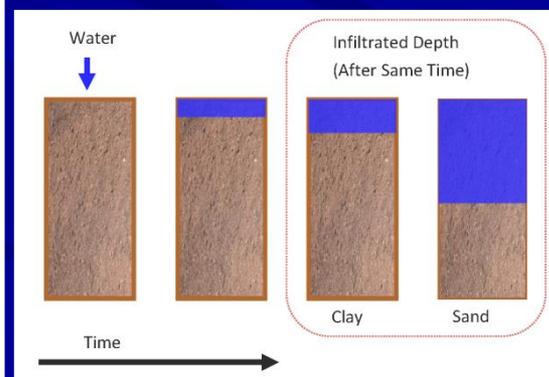
**Коэффициент фильтрации** характеризует водопроницаемость грунтов. Он зависит от количества и размера пор и от свойств фильтрующейся жидкости.

**Коэффициент фильтрации** численно равен скорости фильтрации при гидравлическом уклоне, равном 1, т.е. когда вода фильтруется через грунт вертикально вниз.

# Изменчивость водопроницаемости

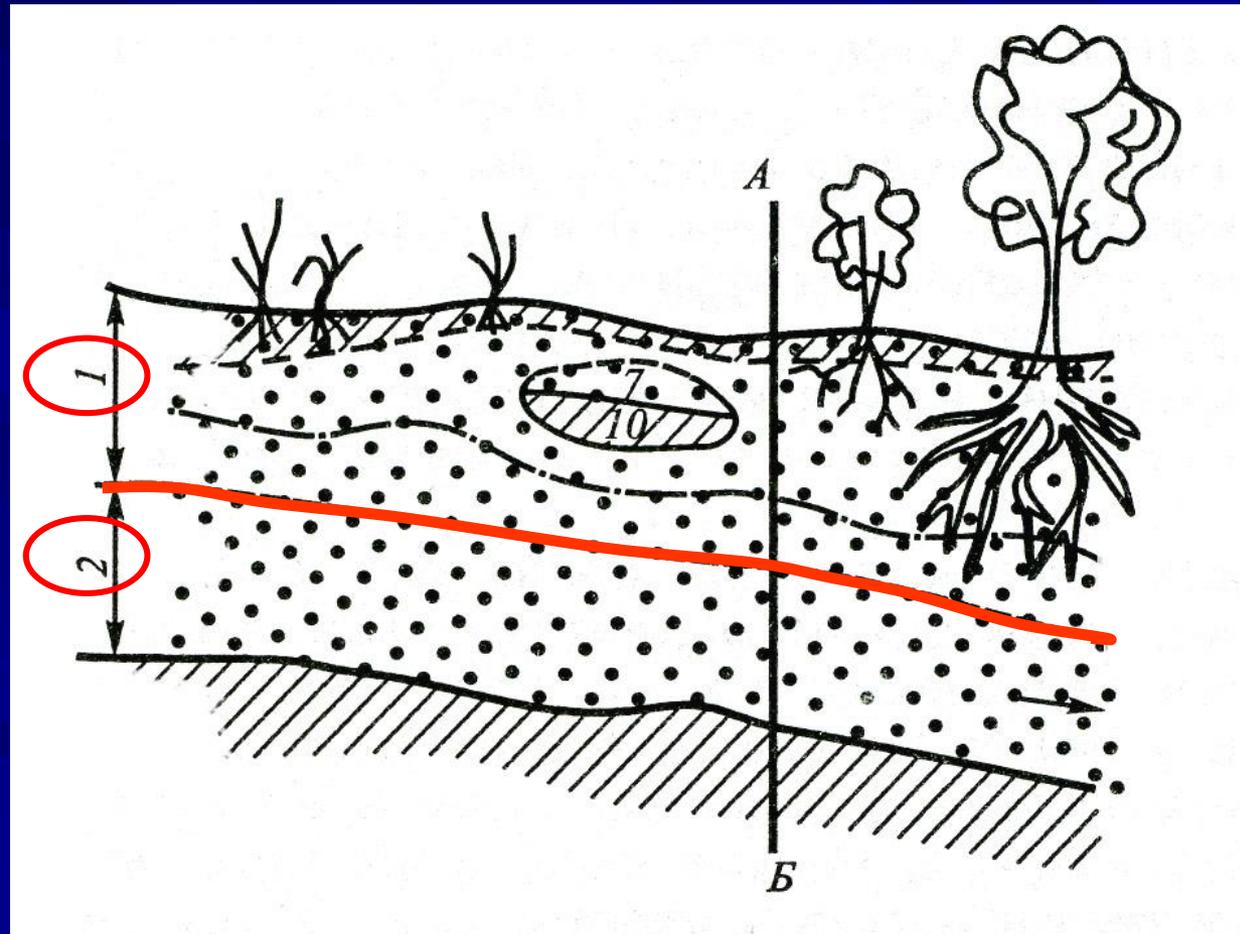
Тип грунта	Коэффициент фильтрации, м/сутки	Степень водопрони- цаемости
гравий, галька	$> 10^2$	высокая
песок	$10^{-1} - 10^2$	хорошая
суглинки	$10^{-6} - 10^{-1}$	слабая
глина, скальные породы	$< 10^{-6}$	непрони- цаемые, водоупоры

# Определение коэффициента фильтрации



**Классификация подземных вод по характеру их залегания. Воды зоны аэрации и зоны насыщения. Напорные и безнапорные воды. Артезианские бассейны.**

- **подземные воды зоны аэрации (1)**
- **подземные воды зоны насыщения (2)**



# Воды зоны аэрации и зоны насыщения.



# *Характеристика почвенных вод*

- формируются в верхнем (1,0-1,5 м) слое почвы
- временное скопление воды
- не образуют непрерывного водоносного горизонта
- возникают при сильных дождях и снеготаянии
- используются растениями

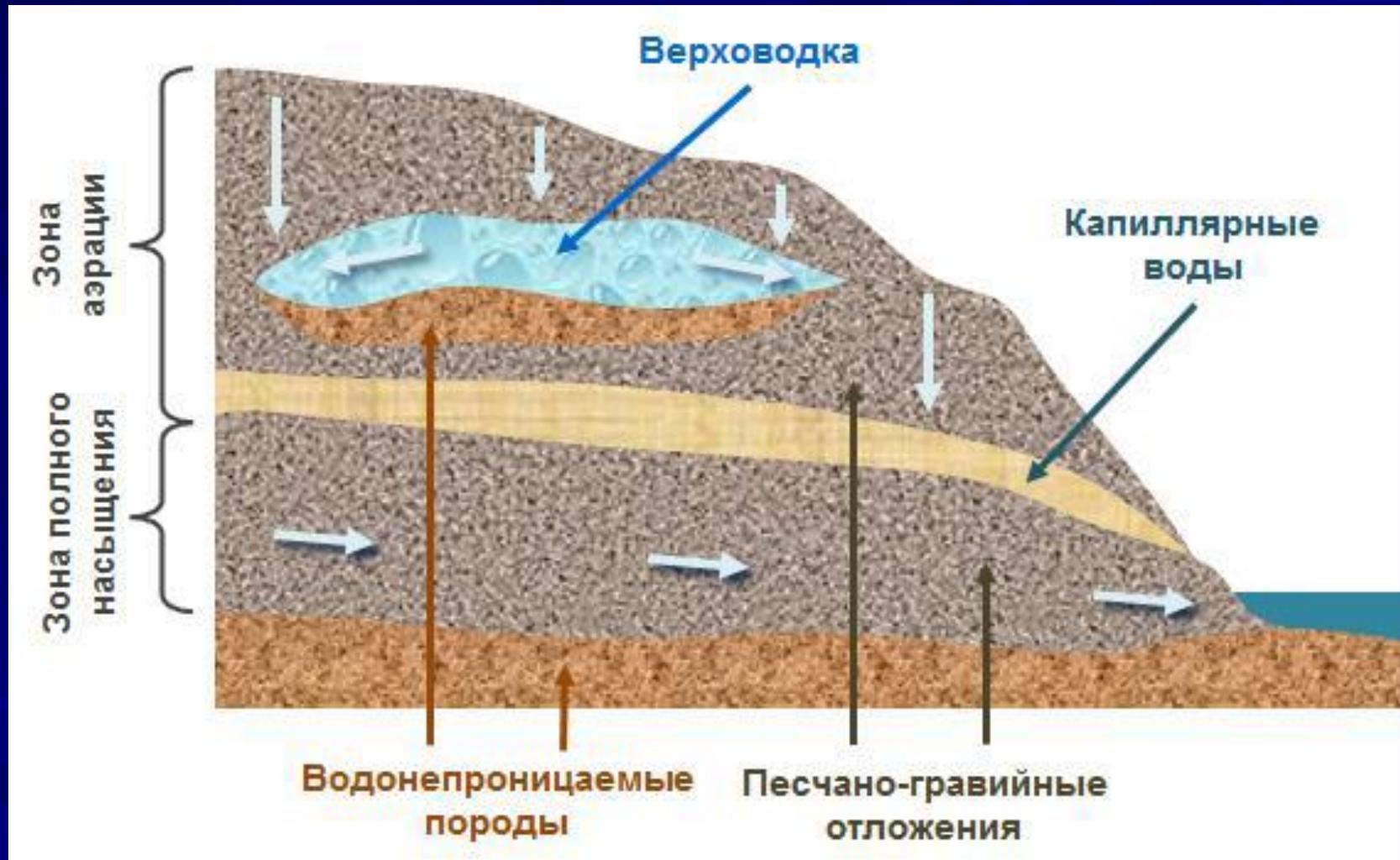
# *Высачивание почвенных вод в период снеготаяния*



# *Характеристика верховодки*

- формируется при наличии слабопроницаемых грунтов
- временные, сезонные скопления воды
- мощность слоя воды 0,4-1,0 м

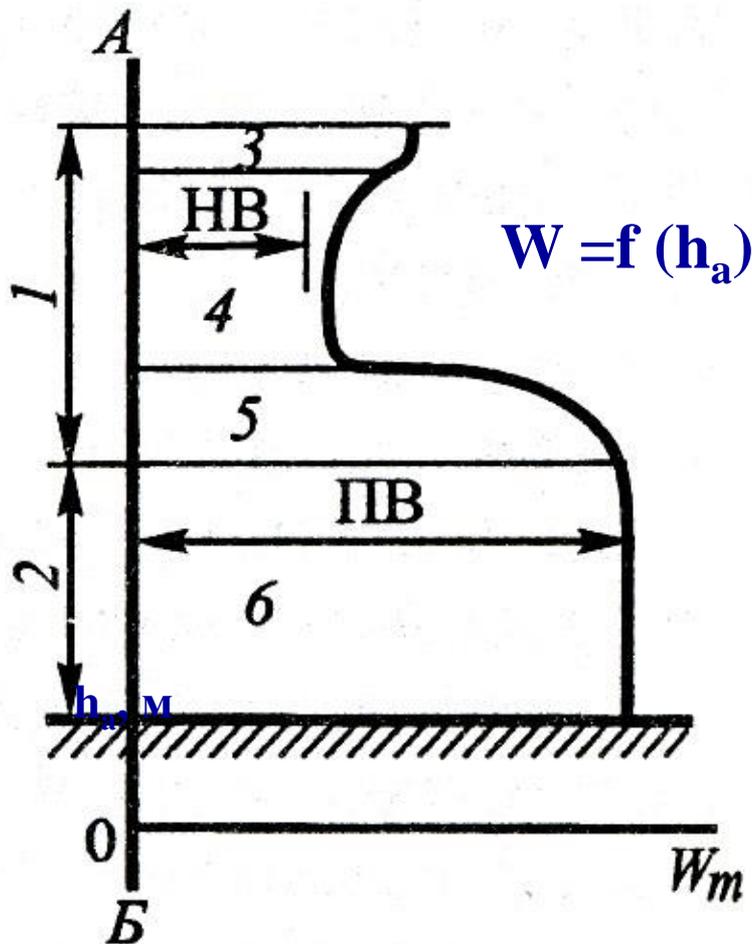
# Характеристика верховодки



# *Капиллярная кайма*

- формируется за счет подъема грунтовых вод по капиллярам
- участвует в формировании почвенных вод
- источник воды для растений

# Изменение влажности в пределах зоны аэрации



1 – зона аэрации

2 – насыщения

3 – почвенные подвешенные воды

4 – инфильтрующиеся воды зоны аэрации

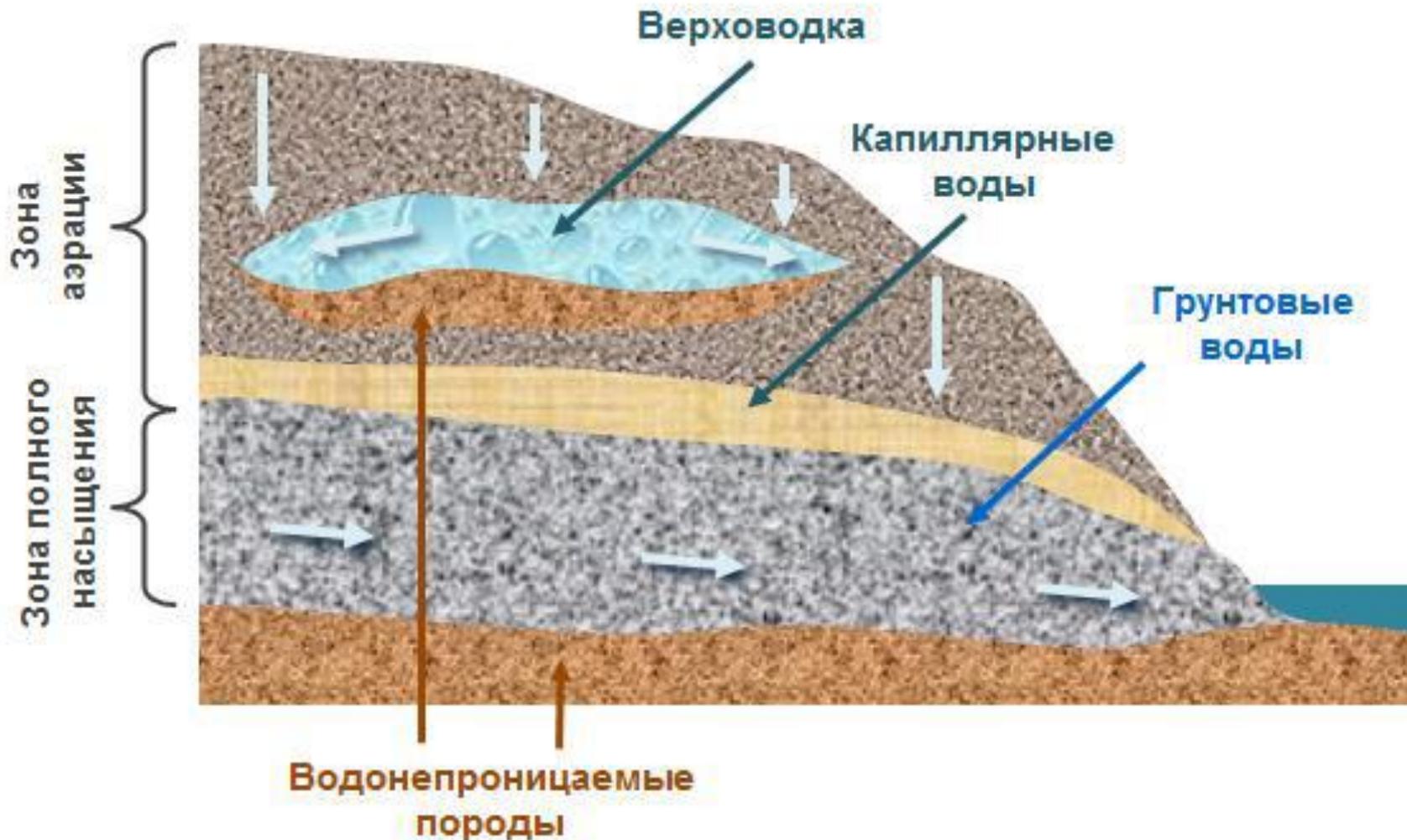
5 – капиллярные воды

6 – грунтовые воды

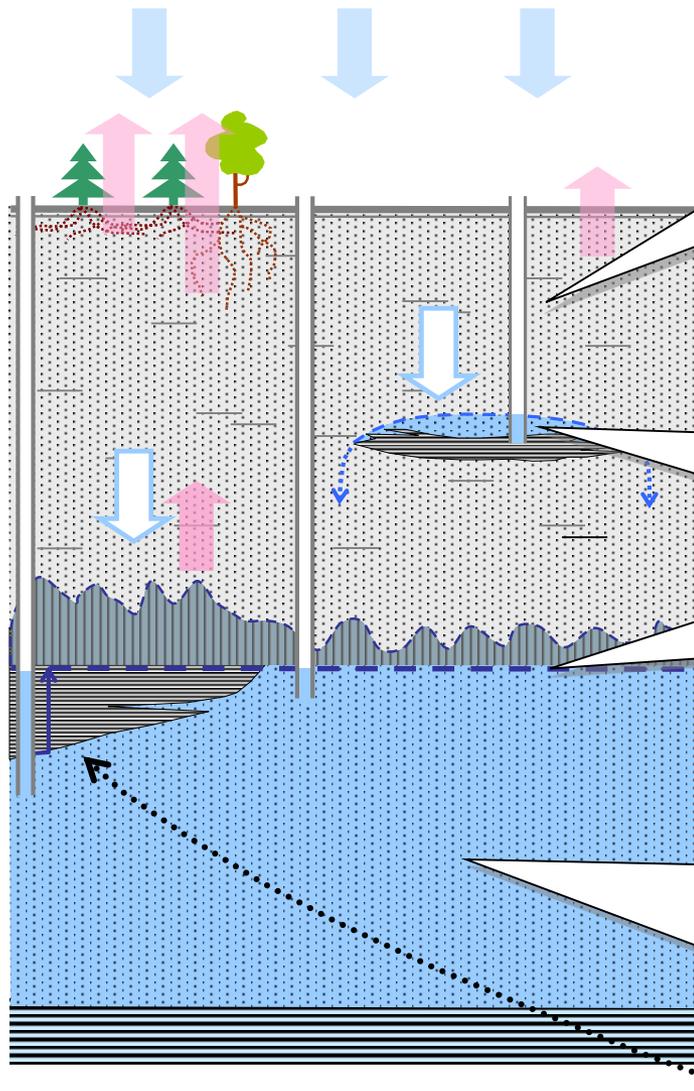
НВ – наименьшая влагоемкость

ПВ – полная влагоемкость

# Условия залегания грунтовых вод



# верхняя часть гидрогеологического разреза



## зона аэрации

- мощность 0...5-10...100-200 м
- неполное водонасыщение, естественная влажность
- водяной пар
- инфильтрация, испарение, транспирация

## верховодка

- локальное распространение (10...100 м)
- изменчивость химсостава, глубины залегания
- неустойчивый режим (до полного исчезновения в маловодные периоды)
- широко используется бытовыми копаными колодцами

## капиллярная кайма

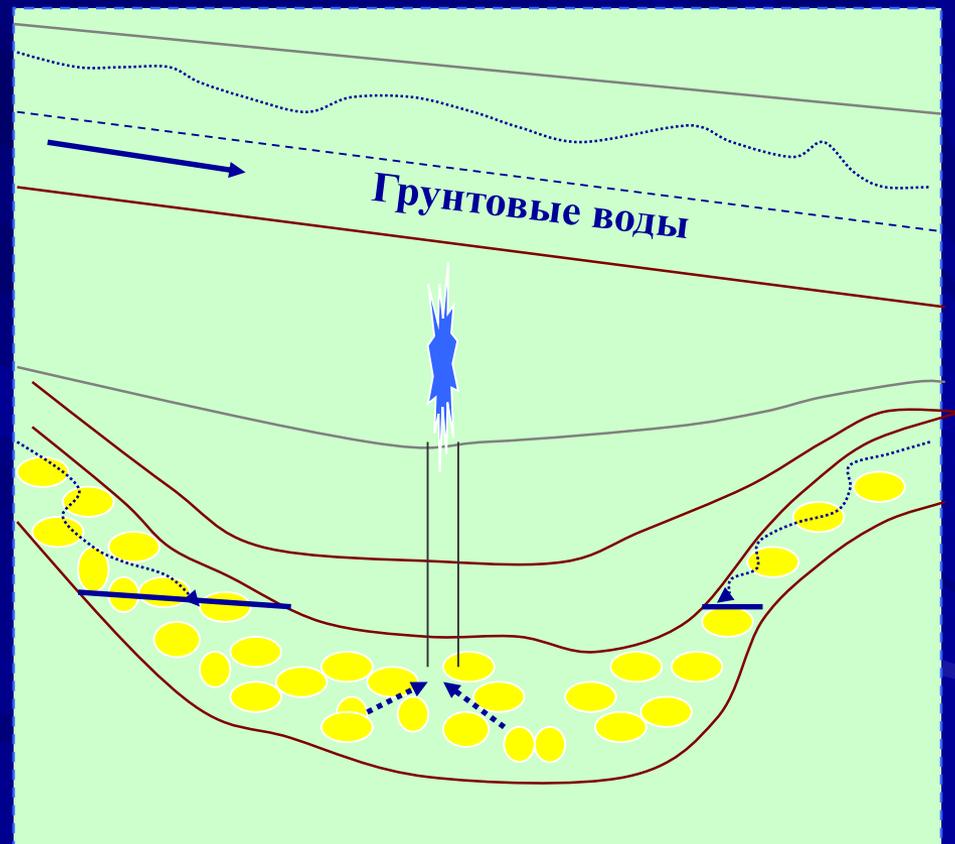
- полное капиллярное насыщение
- высота зависит от грансостава пород (0.01...1 м)
- с запаздыванием перемещается за свободной поверхностью грунтовых вод

## грунтовые воды

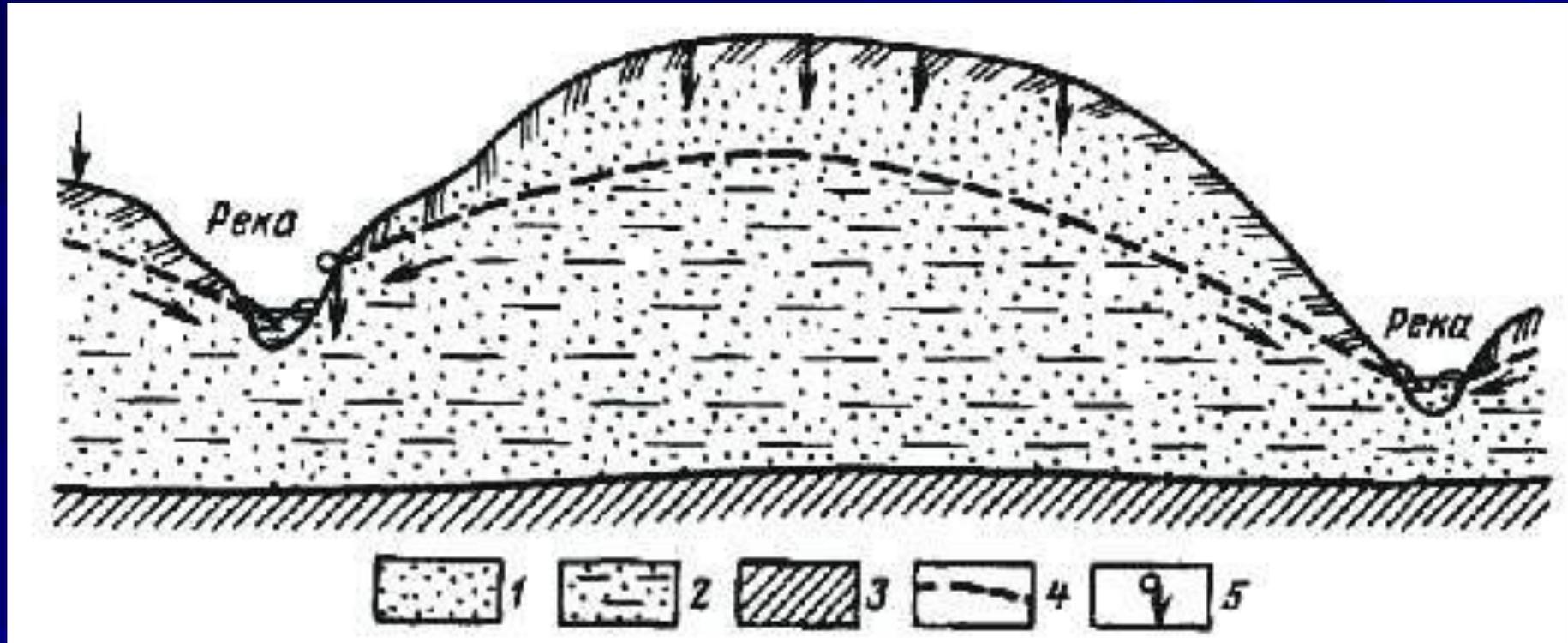
- первый от поверхности **постоянно существующий, регионально распространённый** водоносный горизонт
- давление на свободной поверхности равно атмосферному, т.е. пьезометрическая высота = 0 **поэтому:** уровень вскрытия и установившийся уровень грунтовых вод **совпадают**
- на отдельных участках возможен местный «избыточный» напор над уровнем вскрытия

# Воды зоны насыщения

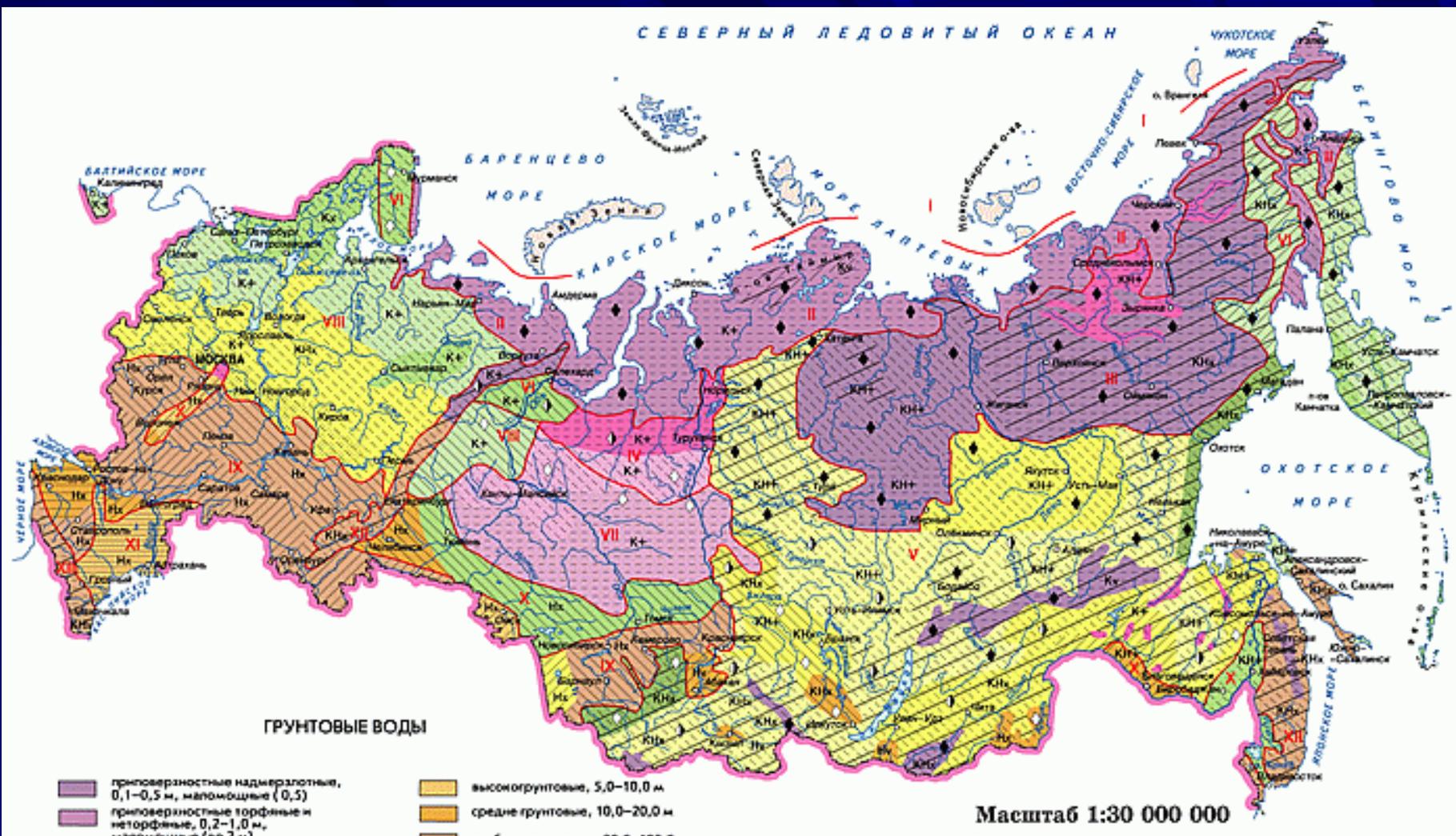
- безнапорные (грунтовые)
- напорные (артезианские)



# Форма зеркала грунтовых вод



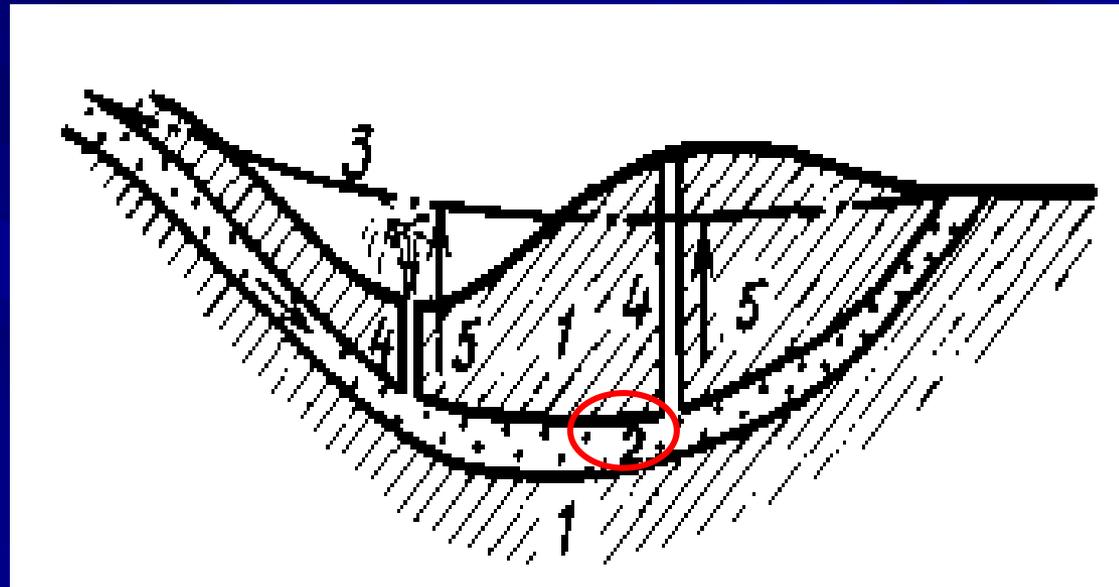
1 — песок; 2 — песок водоносный; 3 — глина; 4 — кривая депрессии; 5 — родник нисходящий



За основную характеристику грунтовых вод принята **глубина залегания грунтовых вод от земной поверхности**, показанная цветом. Глубина определяет их роль в природе, она отражает климатические и геолого-геоморфологические условия их формирования, процессы выщелачивания подвижных компонентов из пород, испарительного концентрирования, генезис и динамику грунтовых вод.

# Артезианские воды

Это напорные воды (2), залегающие между водоупорными пластами (1)



# Артезианские воды



# ***Выброс воды из артезианской скважины***



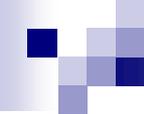
# *Разгрузка артезианских вод в районах распространения многолетнемерзлых пород*



Гидролакколит

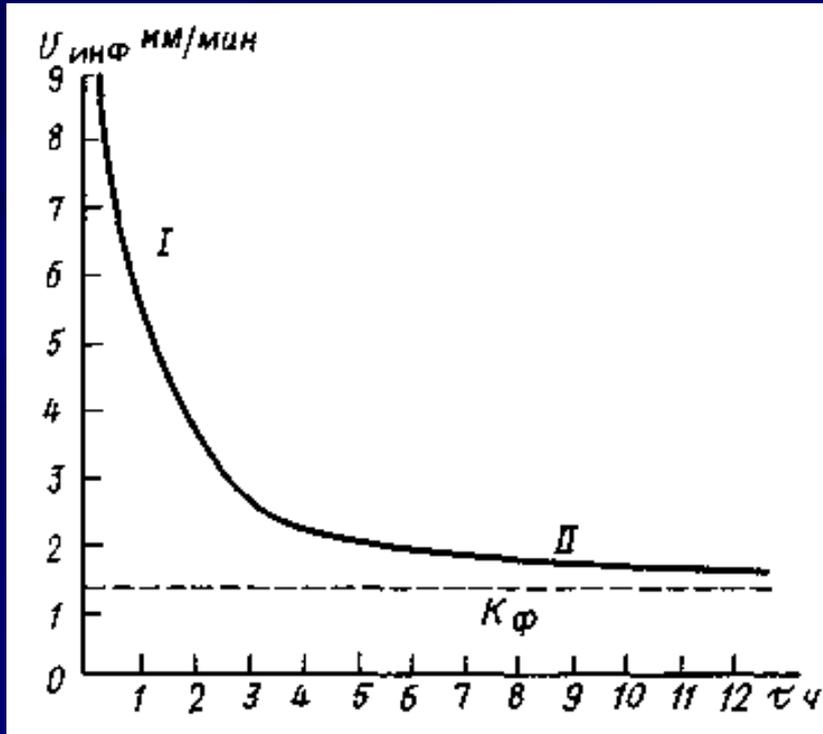
# **Характеристика артезианских вод**

- залегают ниже грунтовых вод
- поднимаются вверх под влиянием пьезометрического напора
- имеют более стабильный режим
- меньше подвержены загрязнению
- источник питьевой воды



***Движение подземных вод.  
Закон фильтрации Дарси.  
Режим грунтовых вод.***

# Кривая инфильтрации



$v_{инф}$  — скорость инфильтрации

## I — свободное просачивание

движение воды в грунте вертикально вниз происходит под действием силы тяжести и капиллярных сил в виде изолированных струек по капиллярным порам и отдельным канальцам; при этом пористое пространство грунта остается не насыщенным водой и в нем сохраняется движение атмосферного воздуха

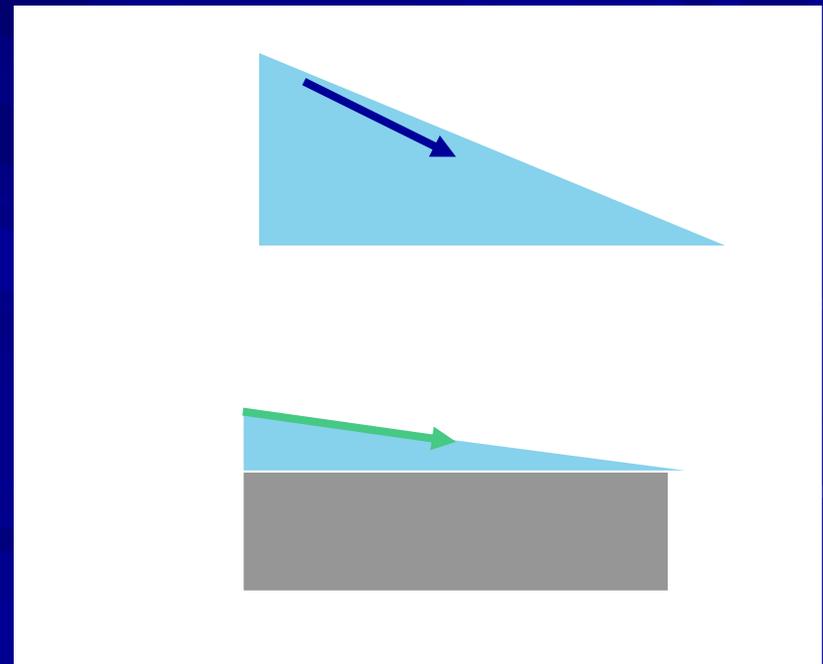
## II — нормальная инфильтрация

движение воды происходит сплошным потоком под действием силы тяжести, гидростатического давления и капиллярных сил; поры заполнены водой полностью.

# Виды движения воды в зоне насыщения

## ■ фильтрация

- перемещение в сторону уклона водоупора  
или в сторону уменьшения  
пьезометрического  
напора



# **Закон фильтрации Дарси**

$$V_{\phi} = k_{\phi} I$$

$k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации (м/сут)

$I$  - уклон водоупора или зеркала грунтовых вод (безразмерная величина)

$V_{\phi}$  – скорость фильтрации (м/сут)

# *Характеристика процесса фильтрации*

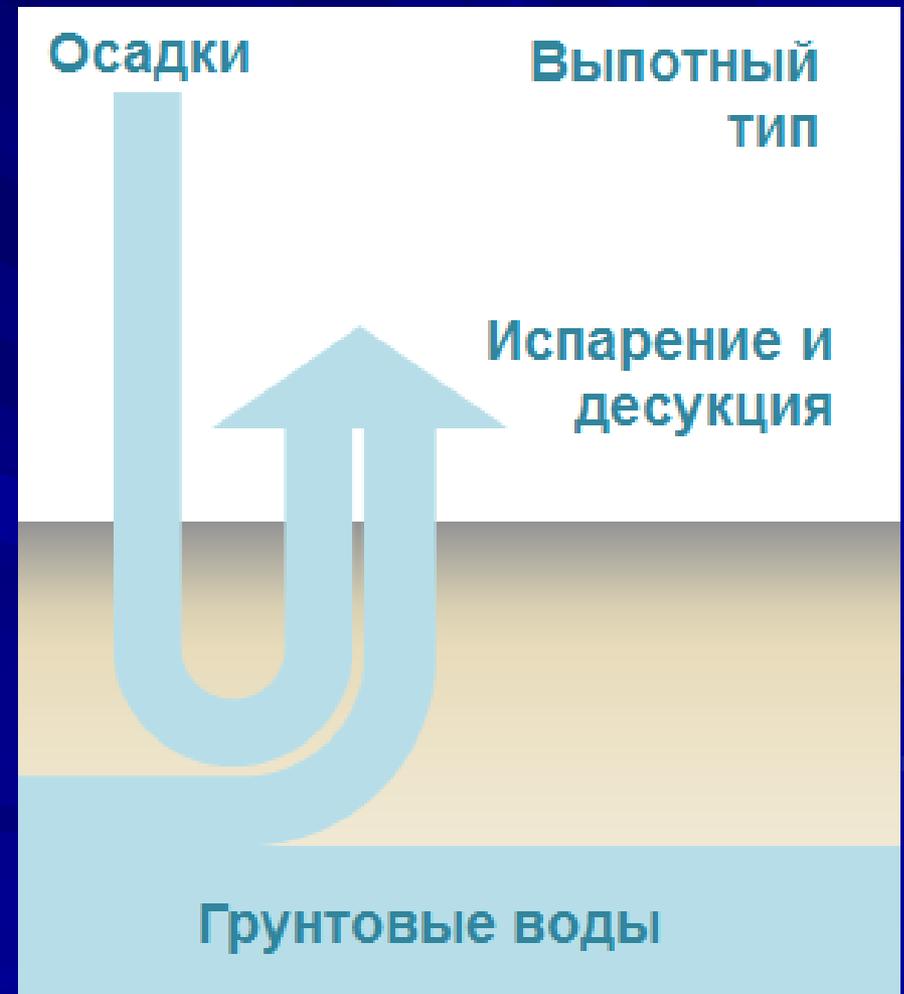
- движение ламинарное
- скорость процесса зависит от типа грунта, изменяется от  $10^{-6}$  до  $10^2$  м/сутки
- различают свободное и напорное просачивание, инфильтрацию (зона аэрации) и фильтрацию (зона насыщения) подземных вод

# Типы водного режима зоны аэрации

- промывной  $I_n > I_c + D$
- компенсированный  $I_n = I_c + D$
- испарительный  $I_n < I_c + D$

$I_n$  – инфильтрация ,  $I_c$  – испарение,  
 $D$  - десукция

# Типы водного режима зоны аэрации



# *Режим грунтовых вод*

- пространственно-временные изменения уровня воды, температуры и минерализации
- зависит от климатических факторов
- изменяется под влиянием поверхностных вод
- зависит от специфики геологических условий

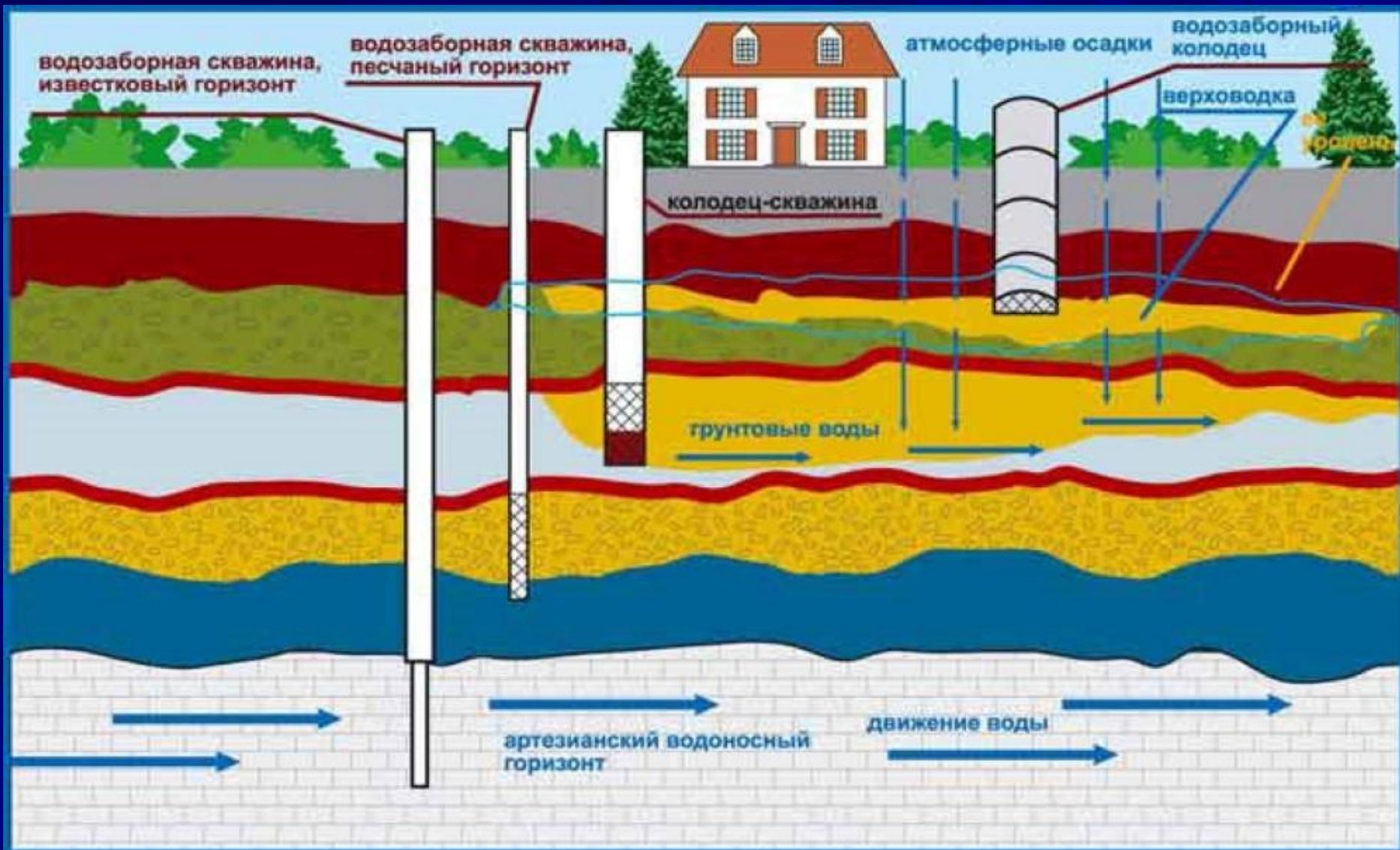
# **Особенности термического режима**

- результат колебаний температуры воздуха и просачивающихся вод
- с глубиной колебания температуры грунтовых вод быстро затухают
- зона с постоянной температурой воды расположена на глубине несколько метров
- наиболее глубоко (до 41 м) она расположена в районах континентального климата

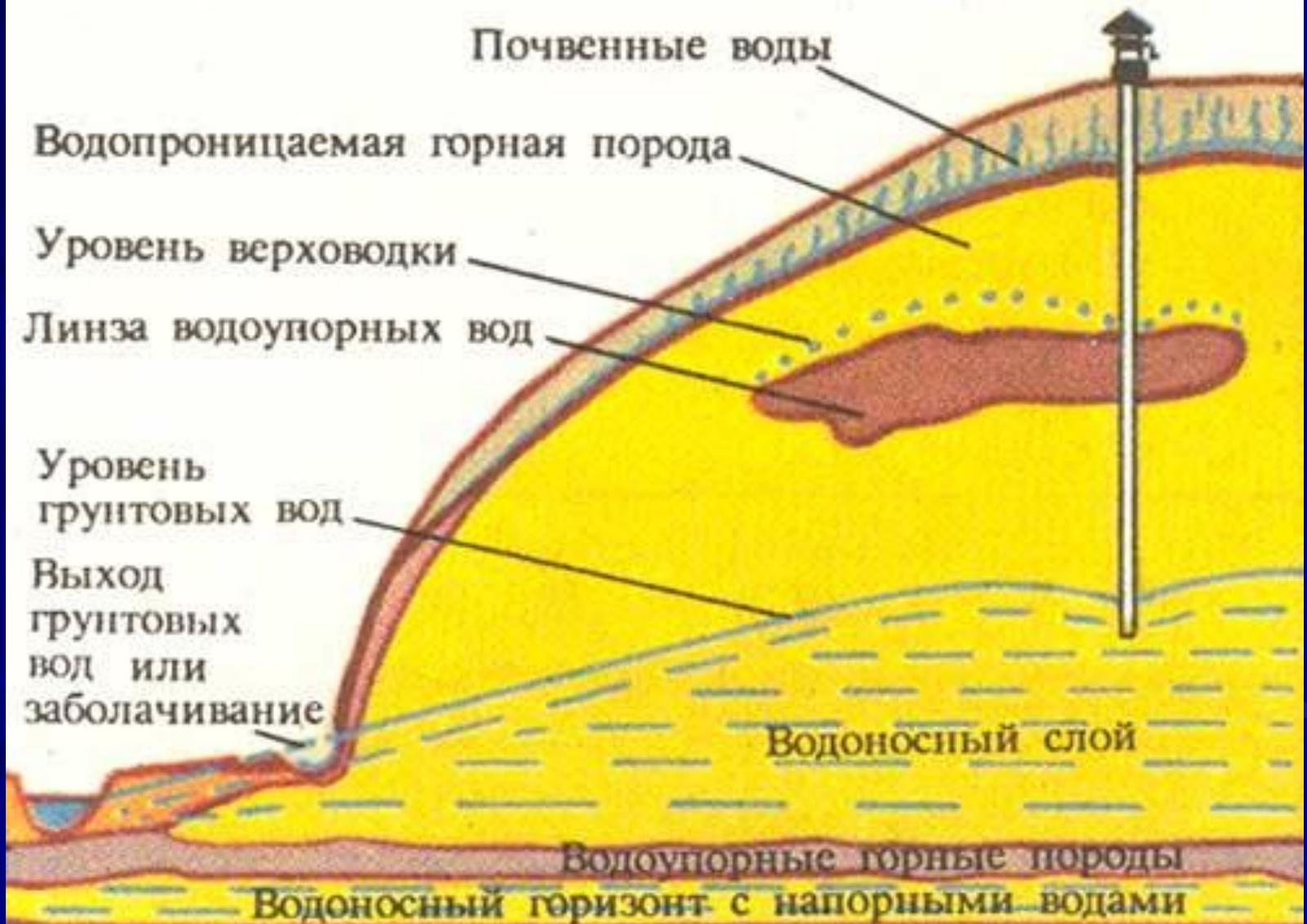
# *Роль подземных вод*

- формируют в среднем 30% стока воды в руслах рек
- в межень могут формировать до 100% стока воды
- отличаются хорошим качеством и часто используются в водоснабжении
- провоцируют опасные процессы (карст, оползни и т.п.)

# Особенности использования подземных вод



Действие колодца  
на уровень  
грунтовых вод



# Суффозия

