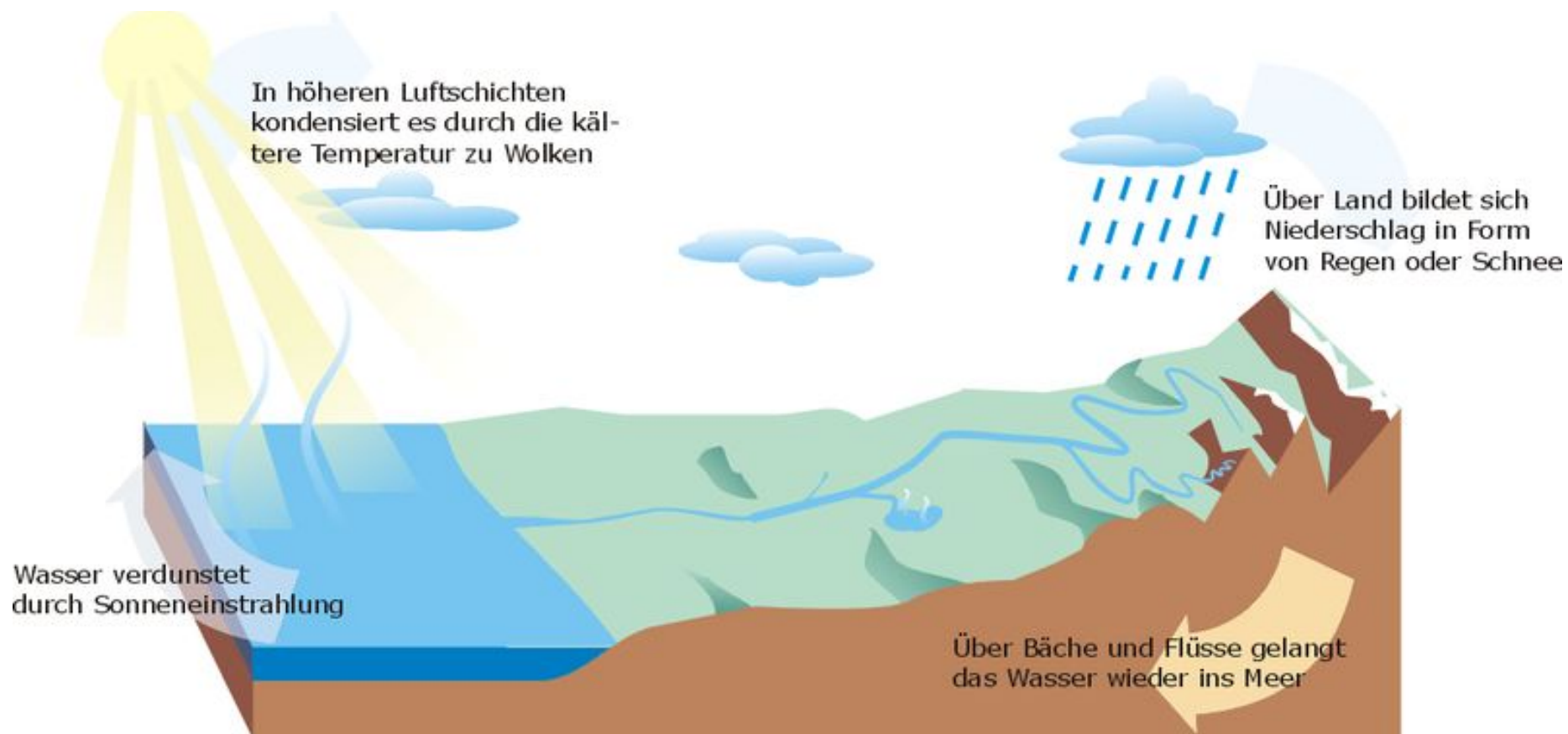


ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

- К подземным водам относятся все природные воды, находящиеся под поверхностью Земли.
- Вопросы происхождения, движения, развития и распространения подземных вод являются предметом изучения *гидрогеологии*
- Подземные воды тесно связаны с водой атмосферы и наземной гидросферы - океанами, морями, озерами, реками.
- В природе происходит непрерывное взаимодействие этих вод, так называемый *гидрологический круговорот*



Гидрологический цикл

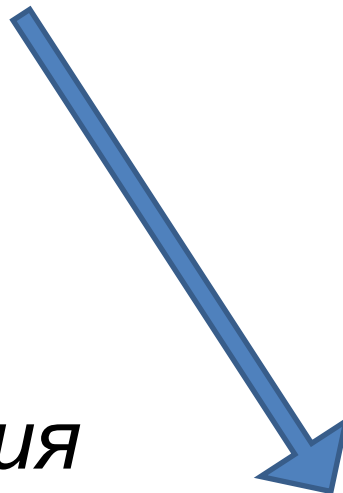
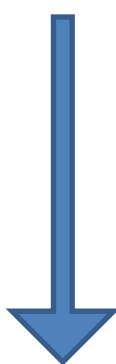
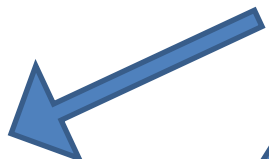
- Наибольшее поступление влаги в атмосферу происходит за счет испарения в океанах.
- Часть образующегося водяного пара над океаном, конденсируясь, выпадает в виде осадков над самим океаном, завершая так называемый **малый круговорот**.

- **Большой круговорот** - водообмен между океанами и сушей.
- Большая часть атмосферных осадков, выпадающих на материки, стекает по поверхности и вновь через реки попадает в океан
- Часть осадков просачивается (фильтруется) в горные породы и идет на пополнение подземных вод, образующих подземный сток,
- Часть осадков вновь испаряется в атмосферу.

Осадки

-

- *испарение*



поверхностный сток

-

инфильтрация

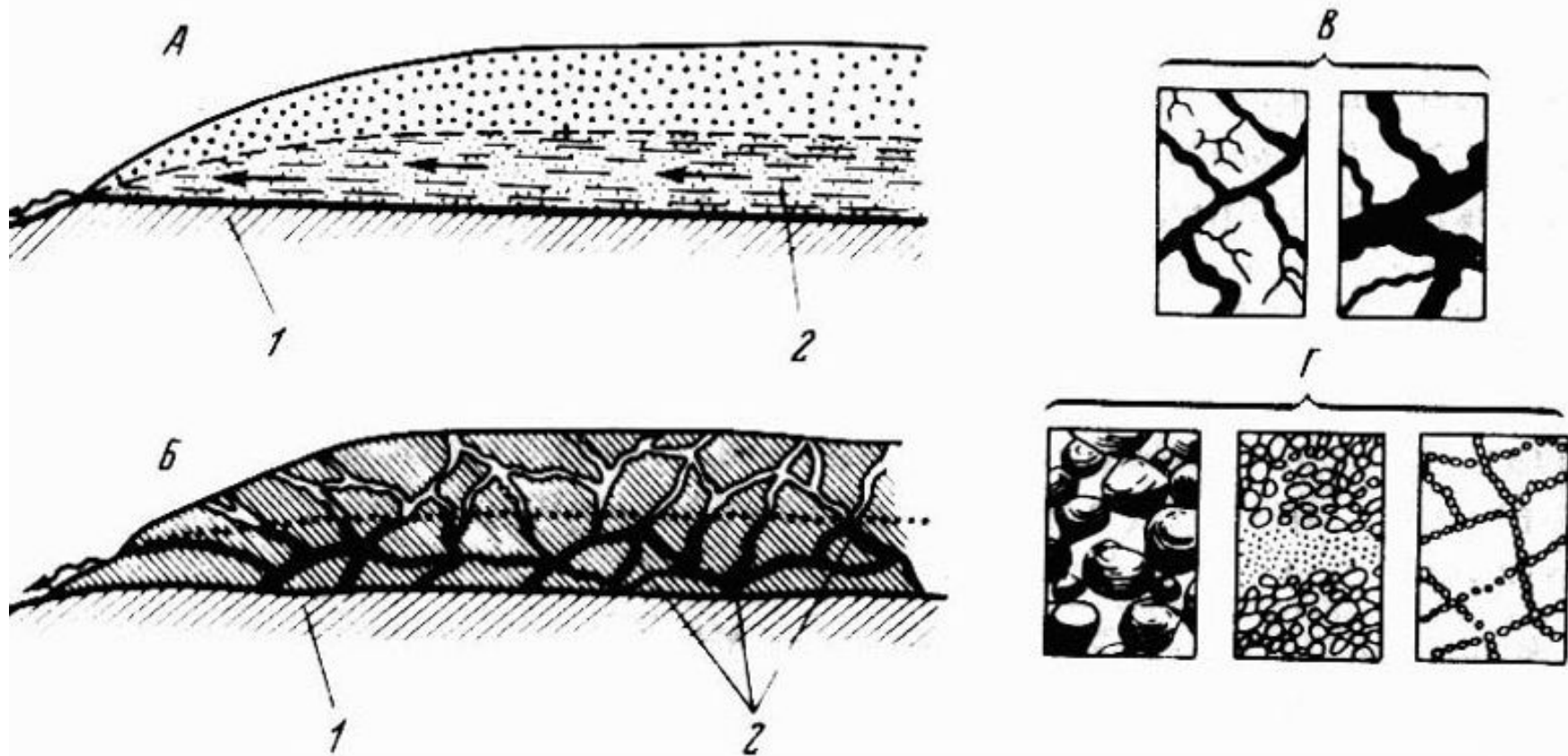
-

подземный

сток

- В пределах большого круговорота на материках выделяется **внутренний, или внутриконтинентальный, круговорот**, существенно увеличивая количество атмосферных осадков, выпадающих на сушу.
- Соотношение между *испарением, поверхностным стоком, инфильтрацией, подземным стоком* изменяется в зависимости от конкретных природных условий: **рельефа, температуры воздуха, растительности, водопроницаемости горных пород и др.**

- **Коллекторские свойства горных пород определяются пористостью и трещиноватостью.**



А - пористые породы; Б - трещиноватые породы;
 В - размеры водопроводящих трещин; Г - размеры и
 плотность расположения зерен в пористых породах;
 1- водонепроницаемые породы, 2- породы,
 насыщенные водой.

- По характеру пустот *породы – коллектора* могут быть подразделены на следующие категории:
 - 1) гранулярные или рыхлые зернистые пористые породы (пески, гравий, галечники);
 - 2) трещиноватые скальные породы – песчаники, известняки, доломиты, магматические, метаморфические породы и др.;
 - 3) трещиноватые и трещинно-карстовые породы: известняки, доломиты, гипсы, соли.
- Таким образом, подземные воды могут заполнять поры между отдельными зернами осадка, мелкие и крупные трещины, карстовые пустоты и полости.

- Общая *пористость пород* выражается отношением объема всех пор (v_p) к объему всей породы (v): $n = v_p/v$; или в процентах: $n = v_p/v \cdot 100\%$.
- Важное значение имеет также размеры пустот и их связь друг с другом.
- Пористость глин достигает 50-60%, а фактически это относительно водонепроницаемые породы, так как поры субкапиллярные (диаметр менее 0,0002 мм).

- Пористость осадочных пород, а следовательно, и их водопроницаемость зависят от:
 - 1) формы и расположения частиц;
 - 2) степени их отсортированности;
 - 3) цементации и уплотнения;
 - 4) выноса (выщелачивания) растворимых веществ, сопровождающегося образованием различных карстовых полостей;
 - 5) характера и степени трещиноватости и наличия разломов.

- На водопроницаемости горных пород сказывается характер сложения зерен.
- Представим себе, что зерна песка имеют шаровидную форму, но их расположение различно.
- В первом случае они расположены так, что их центры образуют куб, во втором - тетраэдр.
- Соответственно пористость изменяется от 47,6 до 26,2%, а следовательно, изменяется и водопроницаемость.

- *Наибольшая водопроницаемость* наблюдается в **галечниках, гравии, в крупных песках, сильно закарстованных известняках и сильно трещиноватых породах** разного генезиса.
- Относительно слабая проницаемость отмечается в **тонкозернистых песках, супесях**, еще меньшая в **лессах, легких суглинках, слаботрещиноватых породах**. Почти непроницаемыми (водоупорными) являются **глины, тяжелые суглинки, сцементированные и другие массивные породы с ничтожной трещиноватостью**.

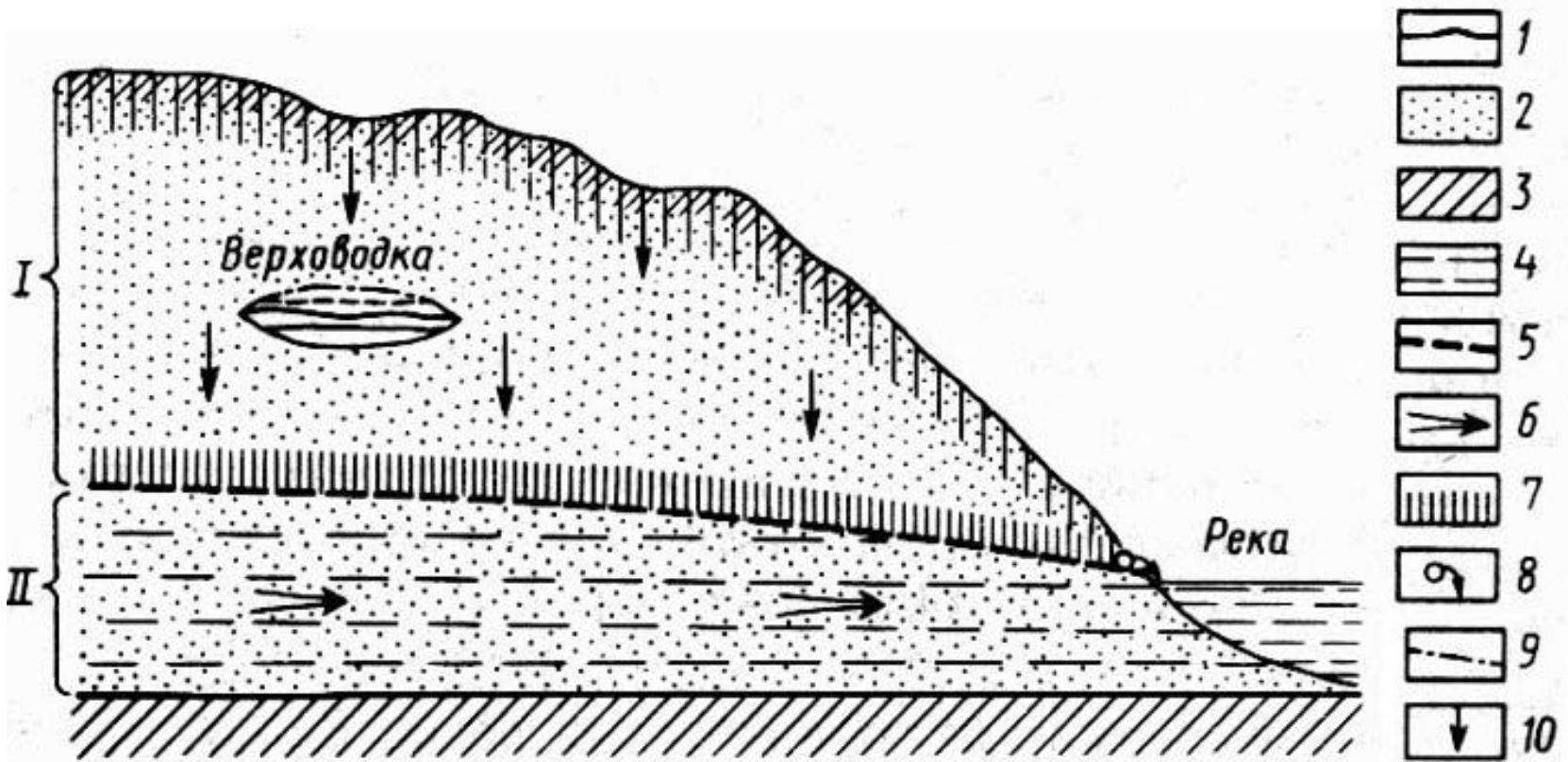
- **Горные породы содержат различные виды воды.**
- I. Вода в форме пара.
- II. Физически связанная вода:
 - 1) прочносвязанная (гигроскопическая) вода;
 - 2) слабосвязанная (пленочная) вода.
- III. Свободная вода:
 - 1) капиллярная вода;
 - 2) гравитационная вода.
- IV. Вода в твердом состоянии.
- V. Кристаллизационная вода и химически связанная вода.

- Вода *в форме пара* содержится в воздухе, заполняющем пустоты и трещины горных пород, свободные от жидкой воды. Парообразная вода находится в динамическом равновесии с другими видами воды и с парами атмосферы.
- *Прочносвязанная вода* образуется непосредственно на поверхности частиц горных пород в результате процессов *адсорбции молекул* воды из паров и прочно удерживается под влиянием электрокинетических и межмолекулярных сил.
- Особенно много физически связанной воды содержится в тонкодисперсных глинистых породах.

- *Слабосвязанная вода* образует на поверхности частиц как бы вторую пленку поверх прочносвязанной и может передвигаться от участков с большей толщиной пленки к участкам, где толщина меньше.
- Пленка удерживается молекулярными силами, возникающими между молекулами прочносвязанной воды и молекулами воды вновь образующейся пленки.
- По мере роста толщины пленки действие молекулярных связей уменьшается.
- Внешние слои слабосвязанной воды доступны для питания растений и могут служить средой развития микроорганизмов.
- Суммарное содержание прочно- и слабосвязанной воды образует максимальную *молекулярную влагоемкость*, которая изменяется в зависимости от состава пород (в %): для песков 5-7; супесей - 9-19; суглинков- 15-23; глин - 25-40

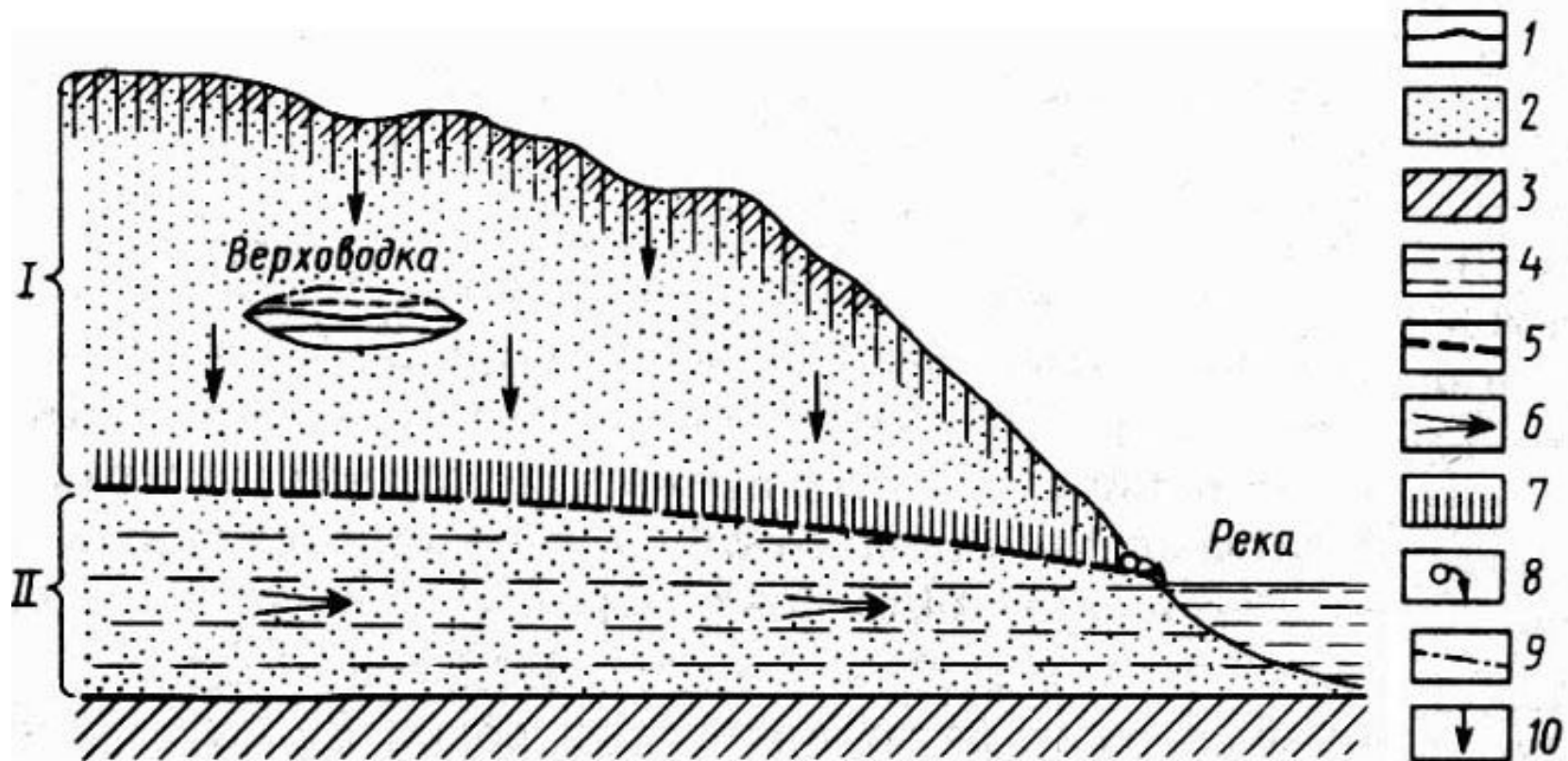
- *Капиллярная вода* частично или полностью заполняет капиллярные поры и трещинки и удерживается в них силами поверхностного натяжения (капиллярных менисков). Она подразделяется на *капиллярно-разобщенную, капиллярно-подвешенную и капиллярно-поднятую*.
- Капиллярно-разобщенная вода образуется преимущественно в местах сопряжения частиц породы и суженных угловых участков пор, где прочно удерживается капиллярными силами (капиллярно-неподвижное состояние).

- Другие виды капиллярной воды способны передвигаться и передавать гидростатическое давление.
- *Капиллярно-подвешенная вода* образуется в верхней части зоны аэрации, в тонких порах и трещинках почв и песчано-глинистых пород за счет инфильтрации атмосферных осадков при влажности пород выше максимальной молекулярной влагоемкости.
- Капиллярно-подвешенная вода не доходит до уровня подземных вод. Она доступна для растений, но в засушливые годы при длительном испарении может расходоваться почти до полного исчезновения.

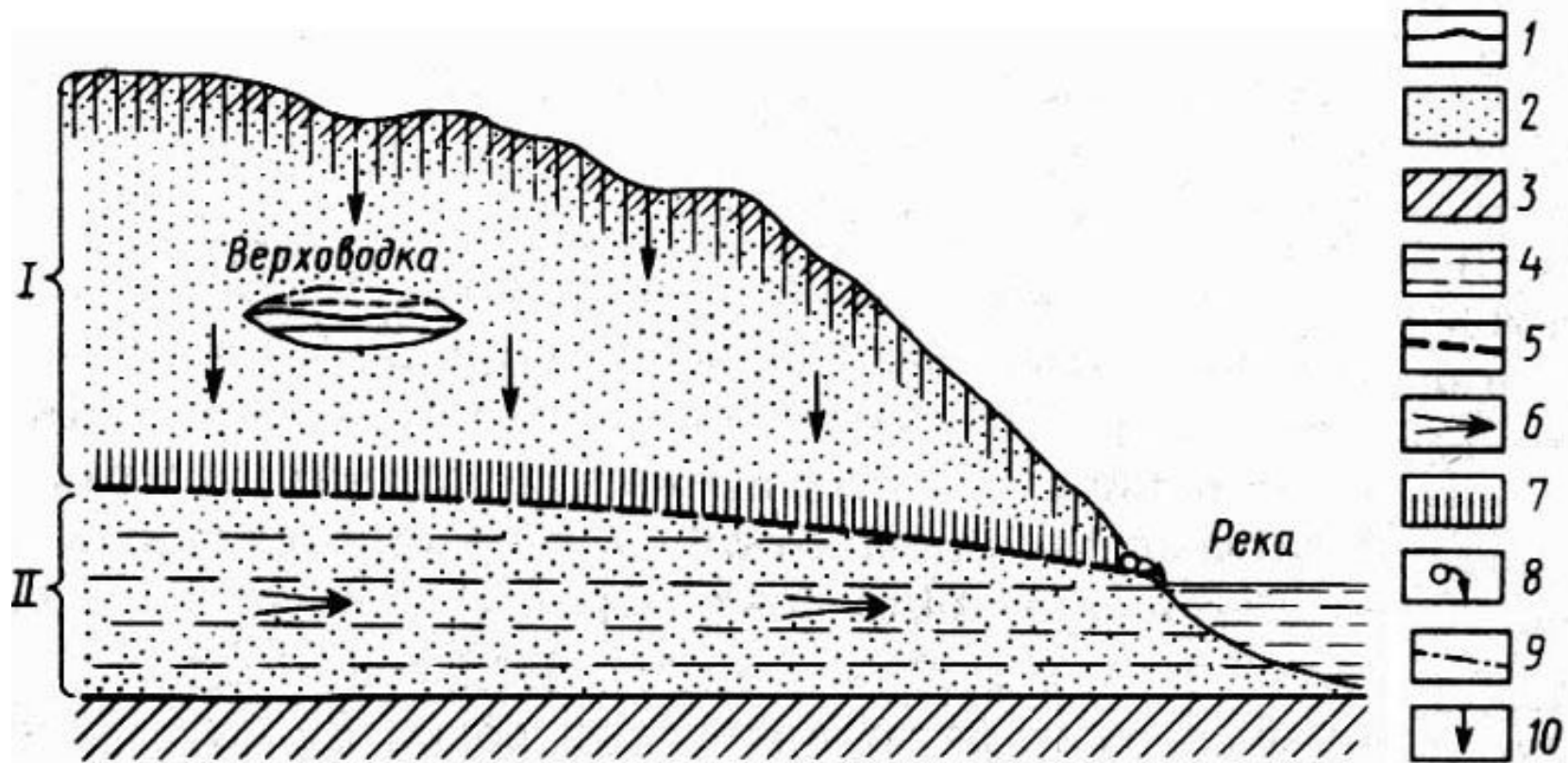


I- зона аэрации; II- зона насыщения

1- почвенные и капиллярно-подвешенные воды, 2- песчаные водопроницаемые породы, 3- водонепроницаемые породы, 4- грунтовые воды, 5- уровень грунтовых вод, 6- направление движения грунтовых вод, 7- капиллярно-поднятая вода, 8- нисходящий источник, 9- уровень верховодки, 10- направление инфильтрующихся вод



Капиллярно-поднятая вода располагается над уровнем первого от поверхности водоносного горизонта (грунтовых вод), где она образует так называемую капиллярную кайму. Мощность ее различна и зависит от состава горных пород; она минимальна в крупнообломочных породах (до 2-30-35 см), максимальна в суглинках и глинах (до первых метров). Количество воды в породе, соответствующее полному насыщению всех капиллярных пор, называют **капиллярной влагоемкостью**.

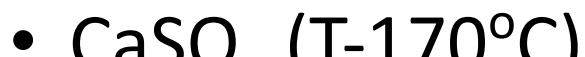


Гравитационная (свободная) вода образуется в породах при полном насыщении всех пор и трещин водой, что соответствует **полной влагоемкости**. Эта вода движется под воздействием силы тяжести и напорного градиента в направлении к рекам, морям и другим областям разгрузки. К гравитационной воде относят также инфильтрационную воду зоны аэрации, появляющуюся периодически во время снеготаяния, после выпадения дождей и идущую на пополнение подземных вод.

- *Вода в твердом состоянии* находится в горных породах или в виде отдельных кристаллов, или в виде линз и прослоев чистого льда.
- Образуется при сезонном промерзании водонасыщенных горных пород, но особенно широко развита в областях распространения многолетнемерзлых горных пород (в Сибири, Канаде и других районах).

- *Кристаллизационная вода* свойственна ряду минералов, где она входит в их кристаллическую решетку. Например, мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ с содержанием кристаллизационной воды до 55,9%, бишофит $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ - до 53,2%, гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - до 20,9% и др.

- Кристаллизационная вода в ряде случаев может быть выделена при высоких температурах. При этом в процессе нагревания могут образовываться промежуточные соединения с меньшим содержанием воды, что видно из рассмотрения превращения гипса в ангидрит:



- ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

-

- По условиям образования выделяются несколько типов подземных вод:

- 1) инфильтрационные;

- 2) конденсационные;

- 3) седиментогенные;

- 4) магматогенные, или ювенильные;

- 5) метаморфогенные, или возрожденные.

- **Инфильтрационные подземные воды** образуются из наземных вод атмосферного происхождения.
- В ряде случаев воды фильтрующиеся из рек, озер, водохранилищ, каналов.
- **Конденсационные воды** образуются в результате конденсации водяных паров воздуха в порах и трещинах горных пород.
- Конденсация водяных паров имеет существенное значение для пустынных районов с малым количеством атмосферных осадков, где периодически возникают небольшие тонкие линзы пресных конденсационных вод, налегающих на соленые воды.

- **Седиментогенные** подземные воды – это высокоминерализованные (соленые) воды в глубоких слоях осадочных горных пород.
- Происхождение связано с захоронением вод морского генезиса, сильно измененных под влиянием давления и температуры.
 - Они могут быть образованы одновременно с морским осадконакоплением (*сингенетические*).
 - Могут быть связаны с проникновением морских вод в сформированные породы (*эпигенетические*).

Седиментогенные воды нередко называют "погребенными", или реликтовыми.

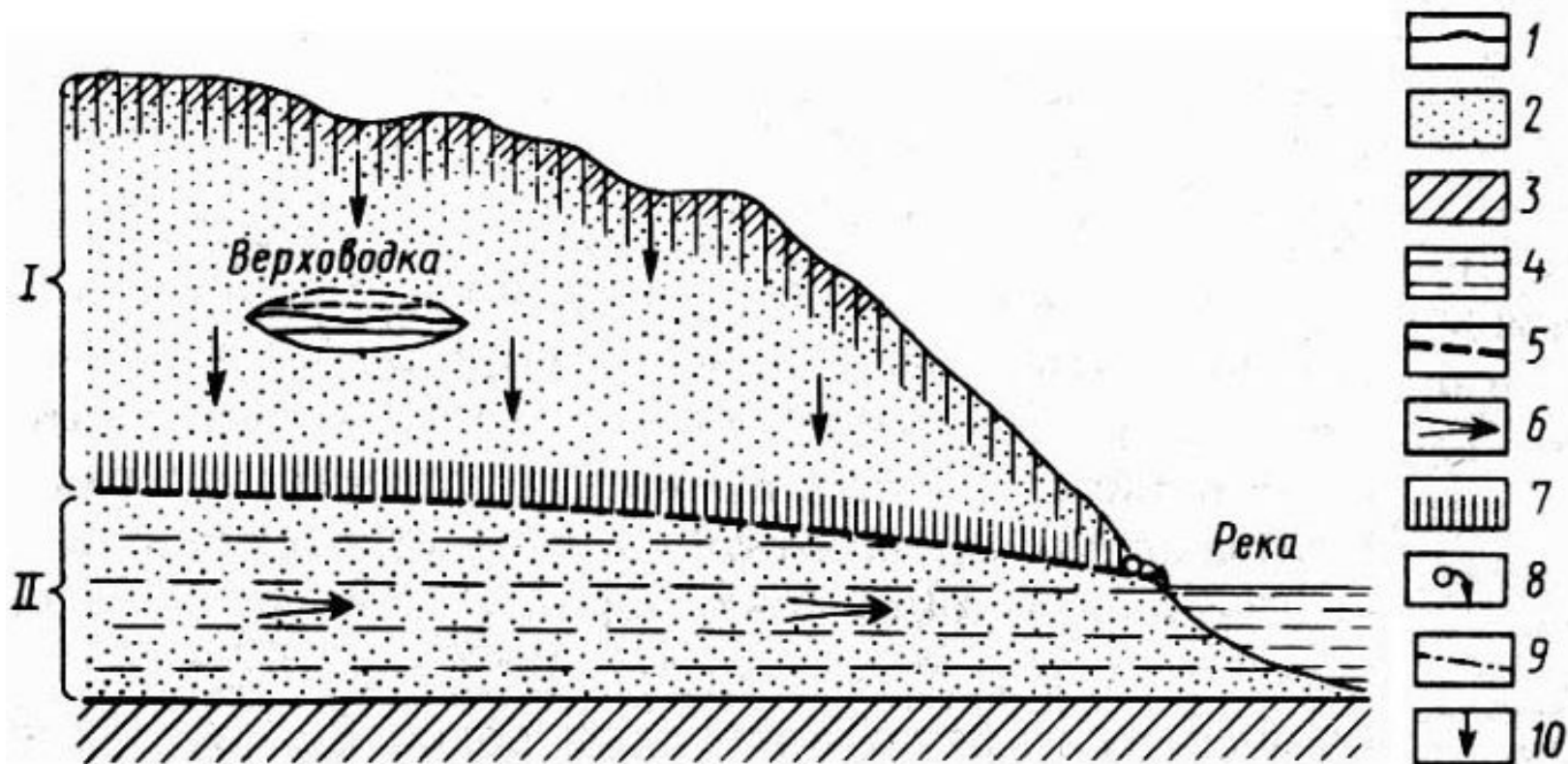
- *Магматогенные подземные воды (ювенильные).*
- при извержении вулканов
- из магматических тел, расположенных на глубине.
- В процессе кристаллизации магмы и образования магматических пород вода отжимается, по разломам и тектоническим трещинам поднимается вверх, поступает в земную кору и местами выходит на поверхность.
- Количество магматогенных вод незначительно.

- *Метаморфогенные* подземные воды (возрожденные)
- образуются при метаморфизме минеральных масс, содержащих кристаллизационную воду или газово-жидкие включения.
- Под влиянием температуры и давления происходят процессы дегидратации.

- **наиболее важное значение** имеют инфильтрационные воды и в какой-то мере седиментогенные.
- Остальные разновидности представляют собой в большинстве случаев смешанные воды, доля которых в общем балансе подземных вод, по-видимому, невелика.

- КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
-
- 1) зона аэрации
 - почвенные воды и верховодка
- 2) зона насыщения
 - 1) грунтовые; 2) межпластовые безнапорные;
3) межпластовые напорные (артезианские).

- ***Почвенные воды*** распространены в почвенном слое близ поверхности Земли.
- формирование связано с процессами инфильтрации атмосферных осадков, талых вод и конденсации атмосферной влаги.
- Вид и состояние почвенных вод определяют три основных фактора:
 - общая увлажненность почвы,
 - мощность зоны аэрации
 - структурно-текстурные особенности почвы.
- подвешенные капиллярные воды, заполняющие межзерновые пространства (десятки сантиметров).
- В случае неглубокого залегания грунтовых вод возможно питание почв снизу за счет капиллярно-поднятой воды.



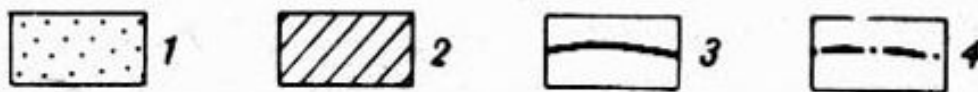
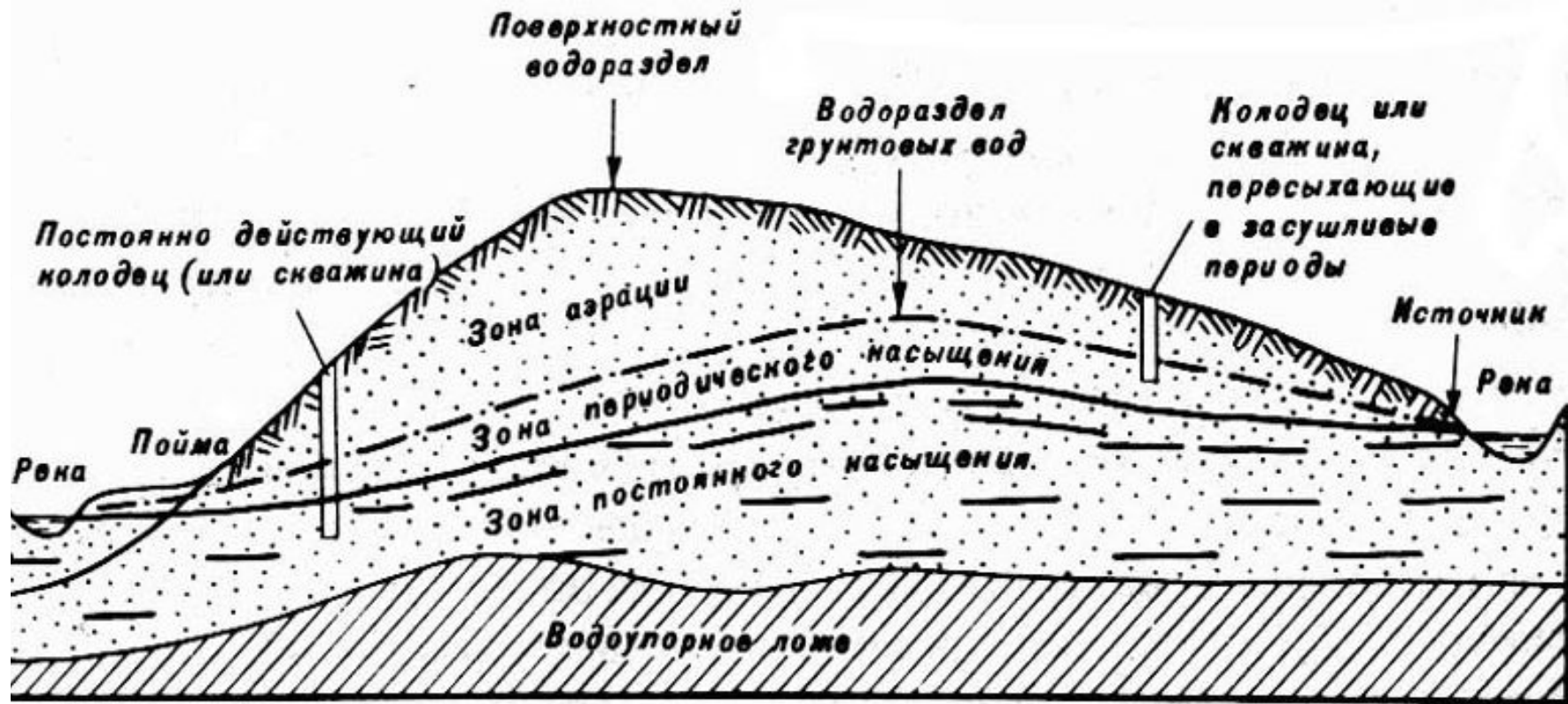
Верховодка: инфильтрующаяся вода встречает на своем пути линзы водонепроницаемых пород. Обычно образуются на сравнительно небольшой глубине и имеют ограниченное по площади распространение.

Мощность пород, насыщенных верховодкой, чаще всего бывает до 1 м, редко достигает 2-5 м. В засушливые годы мощность и количество воды верховодки уменьшаются, а иногда она совсем иссякает.

- Под **грунтовыми водами** понимают свободные (гравитационные) воды первого от поверхности Земли стабильного водоносного горизонта
- заключенного в рыхлых отложениях или верхней трещиноватой части коренных пород, залегающего на первом от поверхности, выдержанном по площади водоупорном слое.
- Область питания совпадает с областью распространения водопроницаемых пород.
- Верхняя граница зоны насыщения называется *уровнем* или *зеркалом грунтовых вод*.
- Порода, насыщенная водой, называется *водоносным горизонтом*,

- Грунтовые воды безнапорные со свободной поверхностью.
- Уровень воды в буровых скважинах и колодцах устанавливается на высоте, соответствующей верхней границе их свободной поверхности.
- Выше уровня грунтовых вод располагается капиллярная кайма.

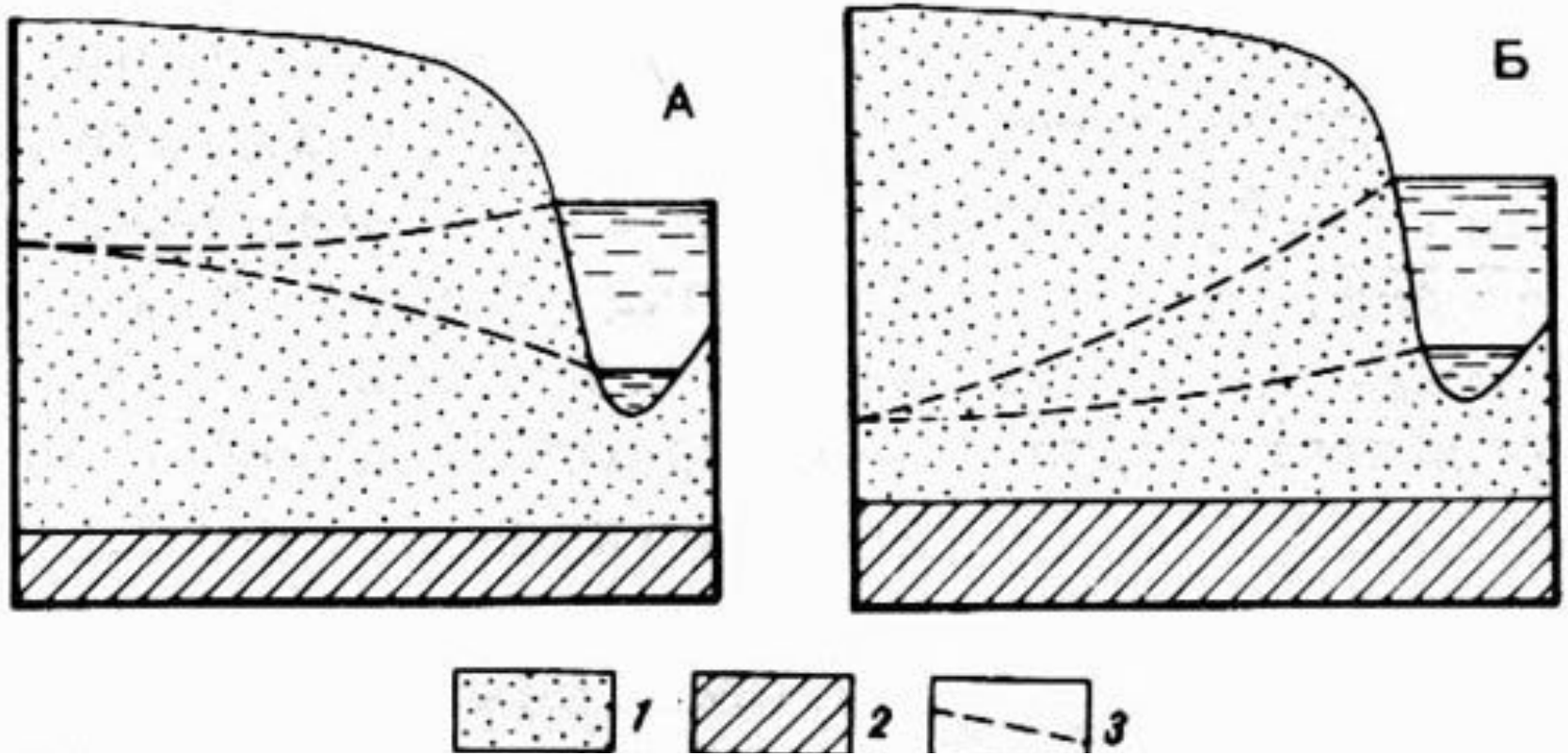
- Движение грунтовых вод подчиняется силе тяжести и осуществляется в виде потоков по сообщающимся порам или трещинам.
- Зеркало грунтовых вод до известной степени повторяет рельеф поверхности, и грунтовые потоки движутся от повышенных участков (начиная от водораздела грунтовых вод) к пониженным участкам (оврагам, рекам, озерам, морям), где происходит их разгрузка в виде *нисходящих источников* (родников) или скрытым субаквальным рассредоточенным способом (например, под водами русел рек, дном озер и морей).
- Такие области называются *областями разгрузки* или *дренирования*.



1-песок, 2-суглинок, 3-минимальный уровень грунтовых вод, 4- максимальный уровень грунтовых вод

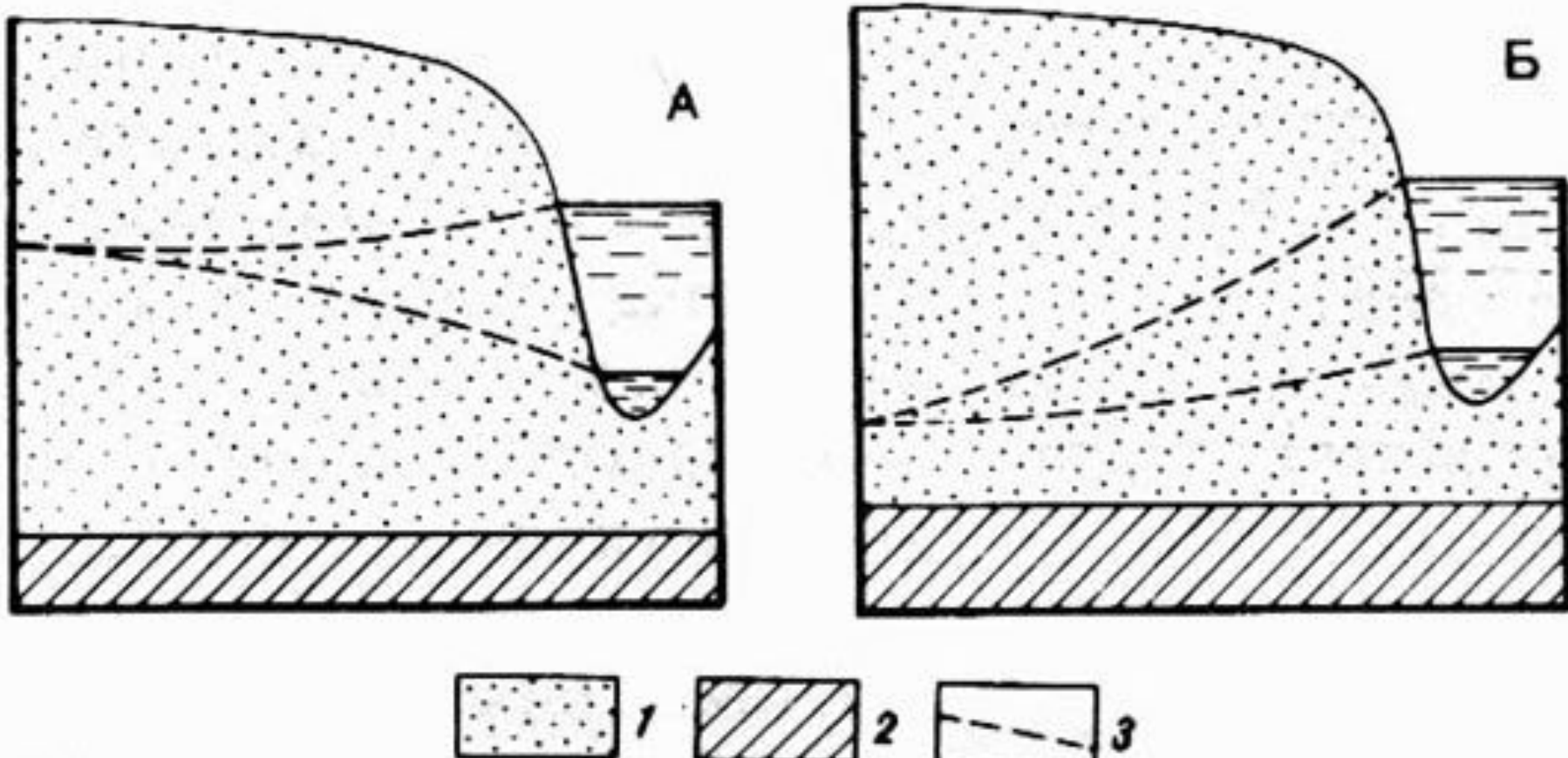
- Течение грунтовой воды называется *фильтрацией*. Она зависит от наклона зеркала грунтовых вод или от напорного градиента, а также от водопроницаемости горных пород.
- Движение грунтовых вод через относительно мелкие поры и неширокие трещины происходит в виде отдельных струек и называется *ламинарным*
- в галечниках, в сильно трещиноватых и закарстованных породах приобретает местами *турбулентный* характер.
- Скорость движения воды в песках от 0,5 до 1-5 м/сут, в галечниках значительно увеличивается. Особенно большая скорость потока грунтовых вод местами наблюдается в крупных подземных карстовых каналах и пещерах

- Зеркало грунтовых вод, количество и качество вод изменяются во времени.
- Это тесно связано с меняющимся количеством инфильтрующихся атмосферных осадков.
- В результате периодически появляется *зона переменного насыщения*
- Вместе с колебанием уровня грунтовых вод изменяется *дебит* источников, а иногда и химический состав



Различные случаи соотношения речных и грунтовых вод.

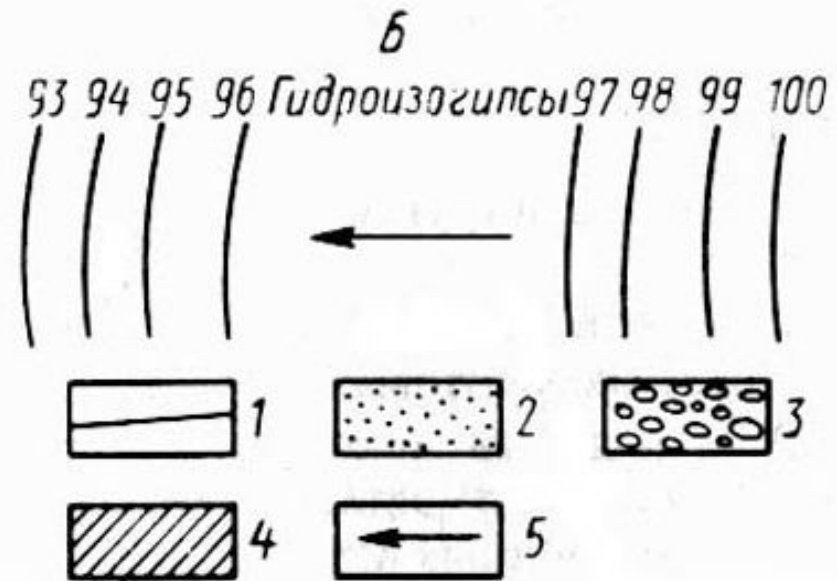
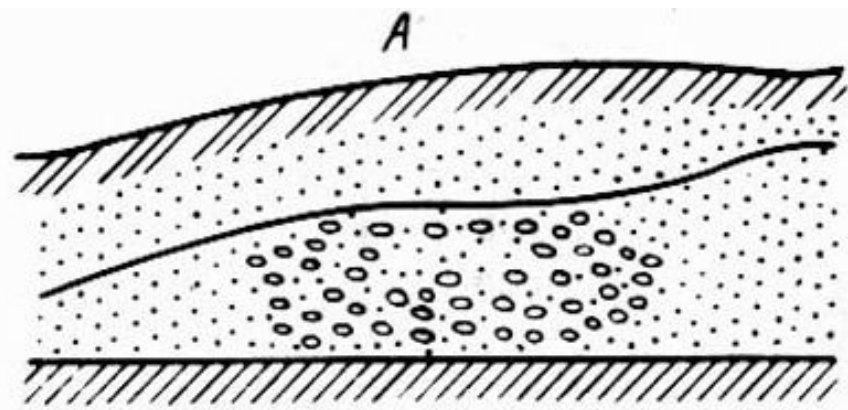
А - уровень грунтового потока наклонен к реке (обратное соотношение в период половодья); Б - уровень грунтовых вод наклонен от реки (питание происходит за счет инфильтрации речных вод); 1- водопроницаемая порода; 2- водонепроницаемая



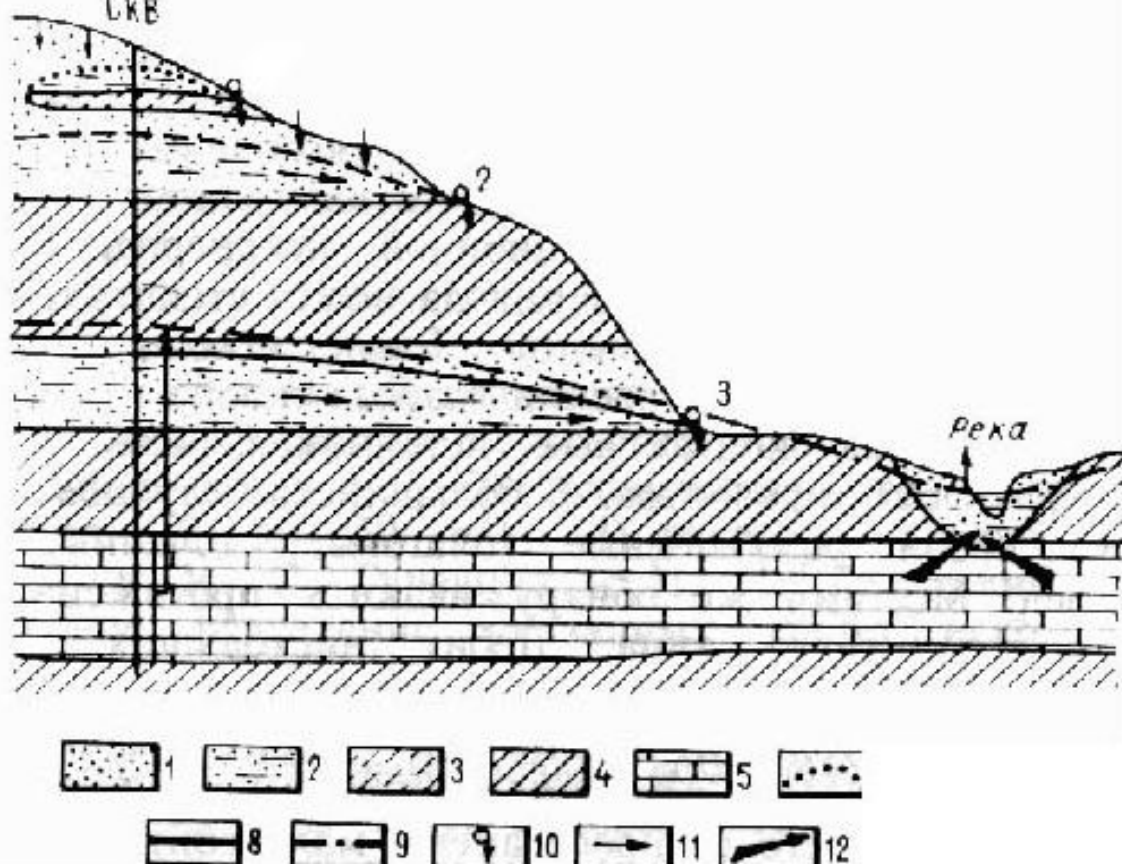
В районах с влажным климатом реки, как правило, дренируют подземные воды, уровень которых имеет наклон к реке, но во время половодья и паводков происходит отток воды из реки и повышение уровня грунтовых вод

В районах с аридным климатом, где количество атмосферных осадков мало, уровень грунтовых вод нередко понижается от реки

строятся карты **гидроизогипс** на которых отражаются линии, соединяющие точки с одинаковыми абсолютными отметками уровня грунтовых вод. По такой карте можно определить направление грунтового потока, глубину и характер залегания уровня грунтовых вод и зависимость его уклона от водопроницаемости отложений и мощности водоносного горизонта.



водопроницаемые
породы сверху и снизу
ограничены
водонепроницаемыми
пластами.
Обычно встречаются на
приподнятых
междуречных массивах
в условиях
расчлененного рельефа
и выходят в виде
нисходящих источников
в береговых склонах
оврагов, рек и других
поверхностных
водоемов



Межпластовые ненапорные воды

• НАПОРНЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

- подземные воды, находящиеся в водоносных горизонтах, перекрытых и подстилаемых водоупорными (или относительно водоупорными) слоями и обладающие гидростатическим напором.
- располагаются на больших пространствах и глубинах вне сферы воздействия местных дрен (рек, оврагов и др.).
- Бывают артезианские бассейны и артезианские склоны

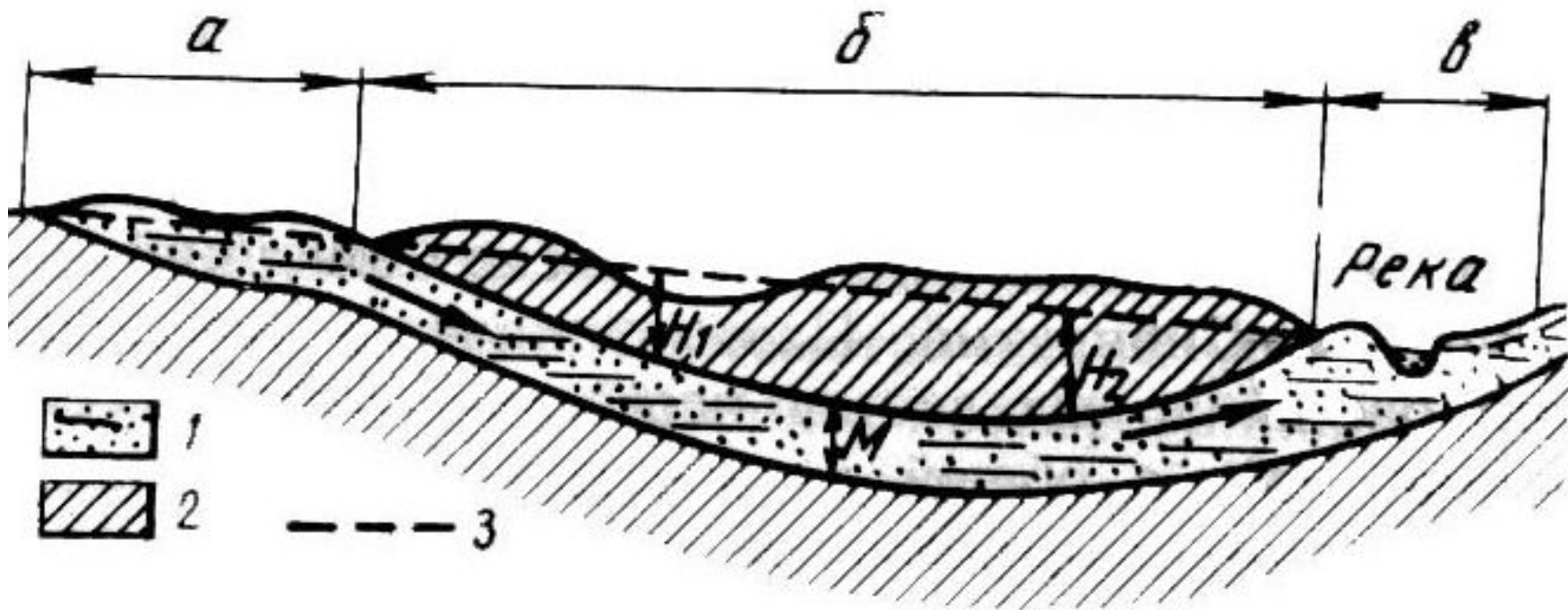
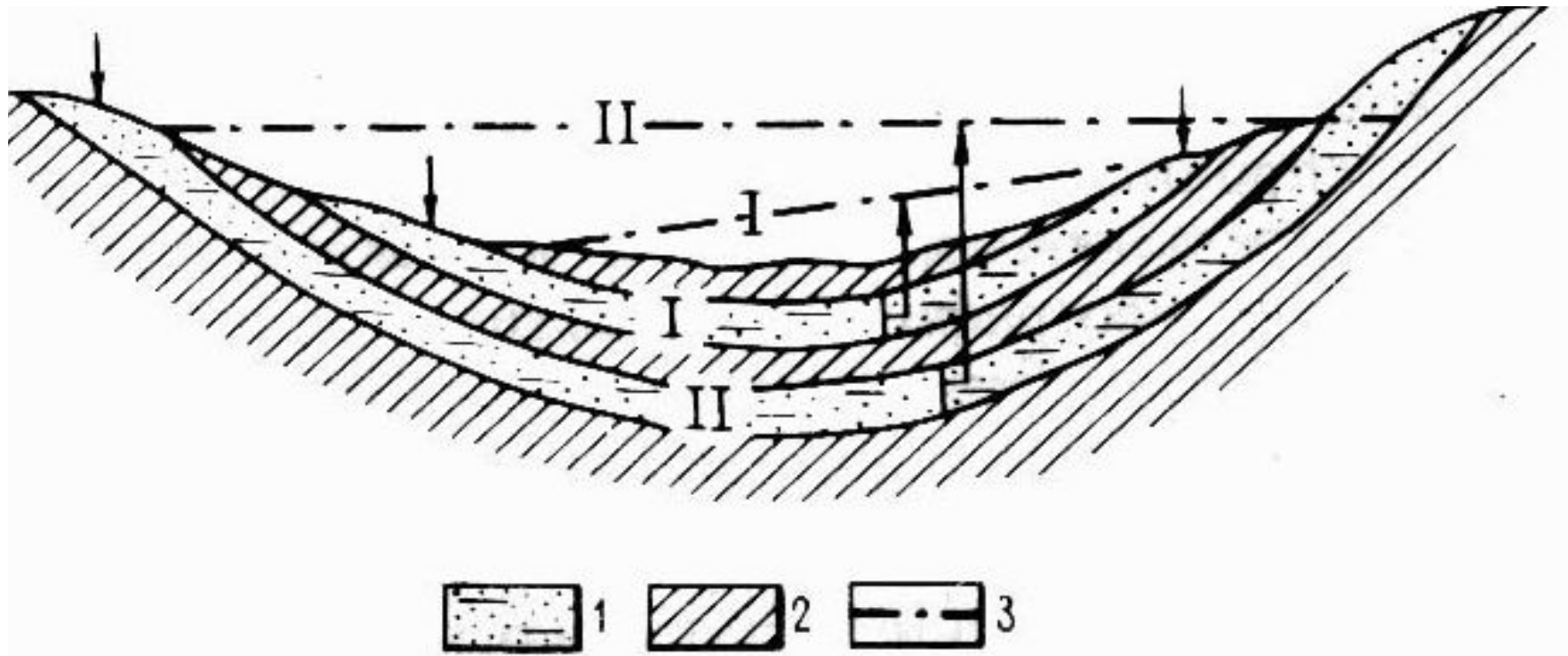


Схема артезианского бассейна при мульдообразном залегании пород *a* - область питания; *б* - область напора; *в* - область разгрузки; H_1 , H_2 - величина напора; 1-водоносный горизонт, 2-водоупорные породы, 3- пьезометрический уровень напорных вод

- Уровень напорных вод называют *пьезометрическим* (греч. "пъезо" - давлению) и всегда выражается в абсолютных отметках, а величина напора - в метрах.
- Пьезометрическая поверхность напорного водоносного горизонта изображается обычно на специальных картах гидроизопьез.

- Размеры многих артезианских бассейнов, приуроченных прогибам и впадинам, колеблются от сотен км² до сотен тысяч км².
- Такие бассейны содержат значительные запасы воды хорошего качества и широко используются для водоснабжения.
- Особенно большие площади занимают артезианские бассейны платформенных областей. В разрезе каждого артезианского бассейна выделяется несколько напорных водоносных горизонтов с общей мощностью водовмещающих пород, превышающей сотни, а иногда и тысячи метров



Тип артезианского бассейна с верхним (I) и нижним (II) водоносными горизонтами 1- водоносные породы, 2- водоупорные породы, 3- пьезометрический уровень

- Своеобразный *артезианский бассейн* формируется местами при моноклиналильном залегании водоносного горизонта, когда водопроницаемые породы выклиниваются по мере погружения или же фациально замещаются водонепроницаемыми породами. Такой бассейн назван *артезианским склоном*. Такие бассейны встречаются в краевых частях предгорных прогибов и на склонах впадин на платформах.

- *Режим артезианских вод* по сравнению с режимом грунтовых является более стабильным;
- пьезометрический уровень мало подвержен сезонным колебаниям; хорошая изолированность от природных и искусственных воздействий с поверхности Земли обеспечивает чистоту воды напорных водоносных горизонтов.

Разгрузка (дренаж) различных типов подземных вод

- *нисходящие источники* связаны с подземными водами со свободной поверхностью - верховодками, грунтовыми и безнапорными межпластовыми водами.
- Подавляющее большинство нисходящих источников грунтовых вод связано с эрозионными врезами долин. Такие источники чаще всего располагаются в основании склонов долины или на ее дне и называются *эрозионными источниками*.

- В случае фильтрационной неоднородности пород, слагающих склоны оврагов, рек, озер, вода может стекать по контакту водоупорного и водоносного пластов. Такие источники называют *контактными*.
- Местами обнаруживаются протяженные линии выхода вод контактного типа.

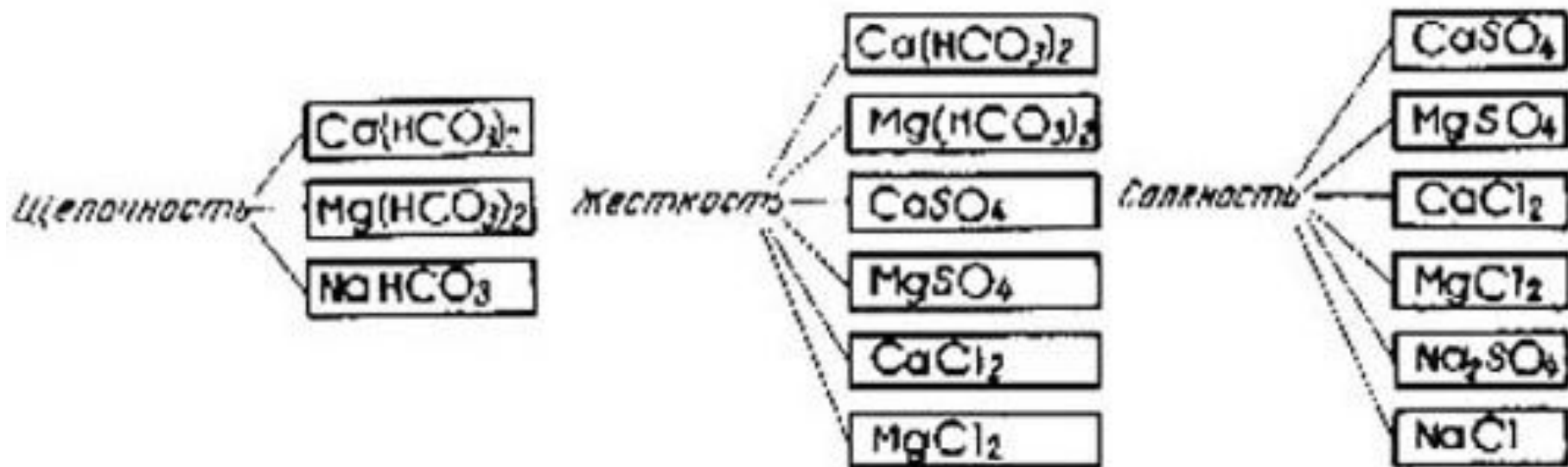
- Дебит нисходящих источников грунтовых вод испытывает сезонные изменения.
- Соответственно изменяются уровни грунтовых вод.

- *Восходящие источники* обязаны своим происхождением гидростатическому напору. Их выходы приурочены к основным краевым областям разгрузки артезианских бассейнов
- Это могут быть эрозионные источники напорных вод или источники, пробивающиеся через относительно, слабо проницаемые отложения, перекрывающие водоносный горизонт
- зафиксированы восходящие *субмаринные источники* подземных вод.

• ОБЩАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

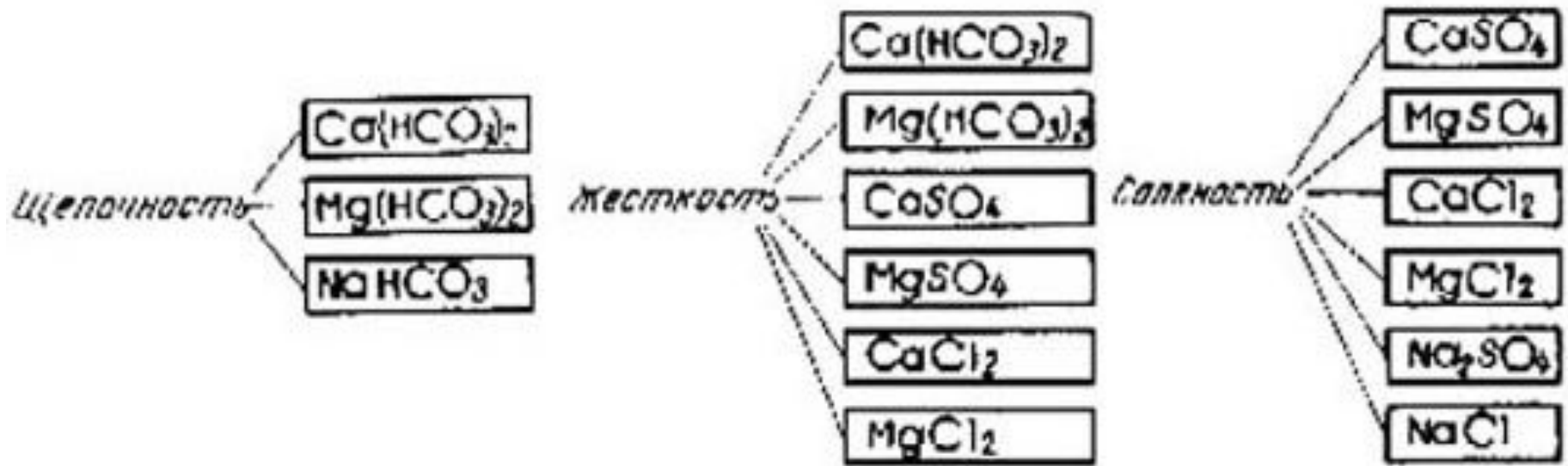
- *Общую минерализацию* подземных вод составляет сумма растворенных в них веществ. Она обычно выражается в г/л или мг/л.
- Формирование химического состава и общей минерализации подземных вод связано с
 - 1) условиями их происхождения;
 - 2) взаимодействием с горными породами, по которым движется подземная вода, и условиями водообмена.

- Обычно выделяются четыре группы подземных вод:
- 1) пресные - с общей минерализацией до 1 г/л;
- 2) солоноватые - от 1 до 10 г/л;
- 3) соленые - от 10 до 50 г/л;
- 4) рассолы - свыше 50 г/л.
- Отнесение к пресным водам обусловлено нормами ГОСТа.
- Солоноватые воды могут использоваться для нецентрализованного водоснабжения, орошения;
- соленые – в качестве минеральных (лечебных) вод.



Основной химический состав подземных вод определяется содержанием трех анионов - HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- и трех катионов - Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ .

Соотношение этих шести элементов определяет основные свойства подземных вод - **щелочность, соленость и жесткость**



По анионам выделяют три типа воды:

- 1) гидрокарбонатные;
- 2) сульфатные;
- 3) хлоридные и

ряд промежуточных - гидрокарбонатно-сульфатные, сульфатно-хлоридные, хлоридно-сульфатные и более сложного состава.

По соотношению с катионами они могут быть кальциевыми или магниевыми, или натриевыми, или смешанными кальциево-магниевыми, кальциево-магниево-натриевыми и

- При характеристике гидрохимических типов на первое место ставится преобладающий анион.
- Так, например, пресные воды в большинстве случаев гидрокарбонатно-кальциевые или гидрокарбонатно-кальциево-магниевые,
- а солоноватые - могут быть сульфатно-кальциево-магниевыми

- В артезианских бассейнах наблюдается *вертикальная гидрогеохимическая зональность*, связанная с различными гидродинамическими особенностями:
- 1) **верхняя зона** - интенсивного водообмена;
- 2) **средняя** - замедленного водообмена;
- 3) **самая нижняя** (наиболее глубокая) - весьма замедленного водообмена.

- В глубоких водоносных горизонтах с высокой минерализацией, помимо основных анионов и катионов, нередко содержатся йод, бром, бор, стронций, литий, радиоактивные элементы.
- Особенно большое количество йода, брома и бора встречается в хлоридно-кальциевых водах нефтяных и газовых месторождений, где они местами извлекаются в промышленных количествах.

- Отмечается *широтная зональность грунтовых вод*, связанная с изменениями климатических условий и степени расчлененности рельефа при движении с севера на юг.
- на территории России две зоны.
- 1. Зона вод выщелачивания (и выноса солей), приуроченная к гумидным областям.
- 2. Зона вод континентального засоления, приуроченная к аридным (засушливым) областям.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ

- *Минеральными* называются подземные воды, обладающие **биологически активными свойствами**, оказывающими физиологическое воздействие на организм человека и используемые в лечебных целях.
- Воды могут быть различны по температуре, минерализации и содержанию целебных химических компонентов.
- По составу, свойствам и лечебному значению различают несколько групп минеральных вод. Из них наиболее известны и широко используются **углекислые, сероводородные и радиоактивные воды**.

- *Углекислые* минеральные воды, постоянно газифицируемые углекислотой:
- 1) холодные углекислые воды, распространенные на курортах Кисловодска (нарзаны) и др.;
- 2) горячие углекислые воды ($T - 37-40^{\circ}\text{C}$, местами 70°C и выше) типа Славянской (Железноводск), Карловы Вары (ЧСФР) и др.
- Многие крупные источники углекислых вод тяготеют к районам, где развиты молодые интрузивные магматические тела. Вероятно большое количество CO_2 образуется в контактных зонах интрузивов и карбонатных пород.

- *Сероводородные* минеральные воды.
- **Воды с азотом** формируются в условиях сочетания торфяных отложений и неглубоко залегающих гипсоносных пород, из которых поступают сульфатно-кальциевые воды. В торфяниках происходит процесс восстановления сульфатов и образование сероводорода.
- **Воды с метаном** формируются в восстановительной обстановке в глубоких частях артезианских бассейнов, будучи связаны с битуминозными и нефтеносными отложениями.
- В районах современной вулканической деятельности (Курильские острова, Камчатка и др.) и молодых магматических интрузий (Пятигорск, Ессентуки) развиты углекислые сероводородные воды.

- *Радиоактивные* минеральные воды отличаются повышенным содержанием радиоактивных элементов. Для лечебных целей широко используются радоновые воды.
- К особой категории относятся месторождения *гипертермальных* вод (до 100° С и выше) в районах современного вулканизма.
- На базе таких месторождений работают геотермальные электростанции, организуется теплоснабжение населенных пунктов и парниково-тепличных хозяйств.