

*Поведение и функции  
загрязняющих веществ в  
природных экосистемах*

*Гидросфера*

Сравнение среднего состава основных катионов в породах континентальной коры и речных водах

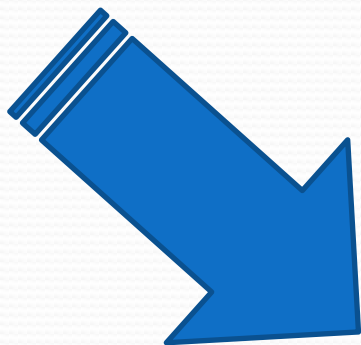
<b>Катионы</b>	<b>Континентальная кора, мг / кг</b>	<b>Речные воды, мг / кг</b>
<b>Al</b>	<b>80,0</b>	<b>0,05</b>
<b>Fe</b>	<b>35,5</b>	<b>0,04</b>
<b>Ca</b>	<b>30,0</b>	<b>13,0</b>
<b>Na</b>	<b>29,0</b>	<b>5,2</b>
<b>K</b>	<b>28,0</b>	<b>1,3</b>
<b>Mg</b>	<b>13,0</b>	<b>3,4</b>

# Состав важнейших растворенных ионов (моль \* л<sup>-1</sup>) некоторых крупных рек

Ионы	Маккензи	Ориноко	Ганг	Рио-Гранде
Ca <sup>2+</sup>	0,82	0,08	0,61	2,72
Mg <sup>2+</sup>	0,43	0,04	0,20	0,99
Na <sup>+</sup>	0,30	0,06	0,21	5,10
K <sup>+</sup>	0,02	0,02	0,08	0,17
Cl <sup>-</sup>	0,25	0,08	0,09	4,82
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,38	0,03	0,09	2,48
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,82	0,18	1,72	3,00
SiO <sub>2</sub>	0,05	0,19	0,21	0,50

## *pH в природных водах*

В природных водах pH контролируется в основном концентрацией растворенных  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$ . Эти формы вступают в реакции и поддерживают pH в пределах относительно узких границ. Большинство почвенных вод, питающие реки и грунтовые воды, имеют околонеutralный pH и  $\text{HCO}_3^-$  в виде основного аниона.



pH

# Минерализация воды

*Карбонатная (временная)*



кипячение или  
прибавлением к воде  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

*Некарбонатная (постоянная)*



прибавление к воде соды

# *Жёсткость воды*

Сумма временной и постоянной жесткости воды составляет общую жесткость, выраженную в миллиграмм-эквивалентах ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  на литр воды. Вода с жесткостью менее 4 мг-экв/л называется мягкой, от 4 до 8 - средней, от 8 - 12 - жесткой, больше 12 мг-экв/л - очень жесткой. Для открытых водоемов она часто зависит от времени года и погоды. Наиболее «мягкой» природной водой является атмосферная вода, почти не содержащая растворенных солей. Содержание примесей в питьевых водах строго регламентировано. Установлены максимально допустимые их концентрации, при которых они не оказывают влияние на здоровье человека в течение всей жизни и не ухудшают гигиенических условий водопользования. Только для питьевых вод, используемых в качестве лечебных (минеральные питьевые лечебные и лечебно-столовые воды), в связи с тем, что они употребляются человеком эпизодически, допускаются более высокие концентрации отдельных веществ.

Минеральная - это такая вода, в которой содержание твердых растворённых веществ составляет более 1 г/л или вода имеет температуру более 20°C. Критерий общей минерализации (1 г/л) для минеральных вод был установлен произвольно и не имеет научного обоснования, однако на практике он применяется многими странами. Отметим, что под лечебными минеральными водами следует понимать подземные воды, содержащие в повышенных концентрациях минеральные (реже органические) компоненты и газы или обладающие какими-либо особыми физическими свойствами (радиоактивность, повышенная температура и т.д.), благодаря чему эти воды оказывают на организм человека лечебное действие при наружном или внутреннем применении.

## *Классификация по значению минерализации*

<b>Наименование</b>	<b>Концентрация солей, г/л</b>
<b>Ультрапресные</b>	<b>Менее 0,2</b>
<b>Пресные</b>	<b>0,2–0,5</b>
<b>С повышенной минерализацией</b>	<b>0,5–1,0</b>
<b>Солоноватые</b>	<b>1–3</b>
<b>Соленые</b>	<b>3–10</b>
<b>Очень соленые</b>	<b>10–35</b>
<b>Переходные к рассолам</b>	<b>35–50</b>
<b>Рассолы</b>	<b>50–400</b>



# *Химия воды и режимов выветривания*

## *Состав и классификация природных вод*

Вода в своих трех состояниях — жидкость, лед и водяные пары — широко распространена на поверхности Земли и занимает объем 1,4 млрд км<sup>3</sup>. Почти вся эта вода (более 97 %) находится в океанах, а бóльшая часть из оставшейся образует полярные ледяные шапки и ледники (около 2 %). Континентальные пресные воды представляют менее 1 % от общего объема, в основном это подземные воды (глубинные — 0,38 %, поверхностные — 0,30 %; озера — 0,01 %; почвенная влага — 0,005 %; реки — 0,0001 %; биосфера — 0,00004 %). Атмосфера содержит сравнительно мало воды (в виде паров) — 0,001 %.

# *Основные факторы, влияющие на состав природных вод*

Пресная вода, в отличие от большинства веществ, при плавлении сжимается, а при замерзании, наоборот, расширяется. Этим объясняется тот факт, что вода активно участвует в формировании облика поверхности Земли, разрушая материнские породы гор на мелкие частицы — первичный материал почвы. При формировании химического состава природных вод принято выделять прямые и косвенные, а также главные и второстепенные факторы, влияющие на содержание растворенных в них компонентов.

*Прямыми* называют факторы, которые оказывают непосредственное влияние на химический состав воды и связаны с химическим составом минералов, горных пород и почв, контактирующих с данной природной водой.

*Косвенные факторы* — температура, давление, влажность, осадки и др. (оказывают влияние опосредованно).

*Главные факторы* определяют содержание главных анионов и катионов (т. е. класс и тип воды по классификации О. А. Алекина).

*Второстепенные факторы* вызывают появление некоторых особенностей данной воды (цвета, запаха и др.), но не влияют на ее класс и тип.

## *Факторы, воздействующие на формирование состава природных вод*

- 1) физико-географические (рельеф, климат и т. д.);
- 2) геологические (вид горных пород, гидрогеологические условия и т. п.);
- 3) биологические (деятельность живых организмов);
- 4) антропогенные (состав сточных вод, состав твердых отходов и т. п.);
- 5) физико-химические (химические свойства соединений, кислотно-основные и окислительно-восстановительные условия).

# Растворения твердых веществ в природных водах

Важными характеристиками природных вод и твердых веществ при рассмотрении процессов растворения являются часто используемые в зарубежной литературе показатели агрессивности и неустойчивости.

*Показатель агрессивности* природных вод характеризует способность данной воды перевести твердое вещество в раствор. Показатель агрессивности воды часто используют для сравнения растворяющей способности природных вод. Чем больше  $A$ , тем в большей степени система неравновесна и тем более интенсивно протекает процесс растворения данного вещества.

*Показатель неустойчивости* характеризует степень удаленности системы от состояния равновесия. Этот показатель удобно использовать при сравнении устойчивости различных твердых веществ по отношению к одной и той же природной воде. Чем больше значение показателя неустойчивости, тем данное вещество менее устойчиво.

# *Показатели качества природных вод*

К факторам, определяющим качество воды, относятся:

БПК (биологическое потребление кислорода), запахи (привкусы), окраска, растворенный кислород, токсичные вещества, микробы и другие возбудители болезней, минеральный состав, рН, температура, взвешенные частицы.

# *Химические методы, определяющие показатели качества природных вод*

1. *Содержание взвешенных веществ* определяется фильтрованием с помощью обычного фильтра;
2. *Содержание частиц коллоидной степени дисперсности* определяют фильтрованием через мембранный фильтр;
3. *Щелочность* — общее содержание веществ, способных вступать в реакцию с сильными кислотами;
4. *Кислотность* — содержание веществ, способных вступать в реакцию с сильными щелочами;
5. *Жесткость* — содержание в воде солей кальция и магния;
6. *Мутность и цветность* определяются косвенным методом (определенная высота столба жидкости, через который просматривается шрифт или крест).
7. *Химические показатели* определяются как концентрации элементов;
8. *Химическое потребление кислорода (ХПК)*. Величина ХПК определяется количеством окислителя (в пересчете на кислород), затраченного на окисление всех органических веществ, содержащихся в единице объема пробы;
9. *Биохимическое потребление кислорода (БПК)* — Величина БПК определяется количеством окислителя (в пересчете на кислород), пошедшего на окисление биоразлагаемых органических веществ, содержащихся в единице объема пробы;



Состав растворенных ионов в пресных водах зависит от: состава дождевых осадков и сухих атмосферных выпадений; вкладов от реакций выветривания и разложения органического вещества в почвах и породах и различного вовлечения в биологические процессы в почвах.

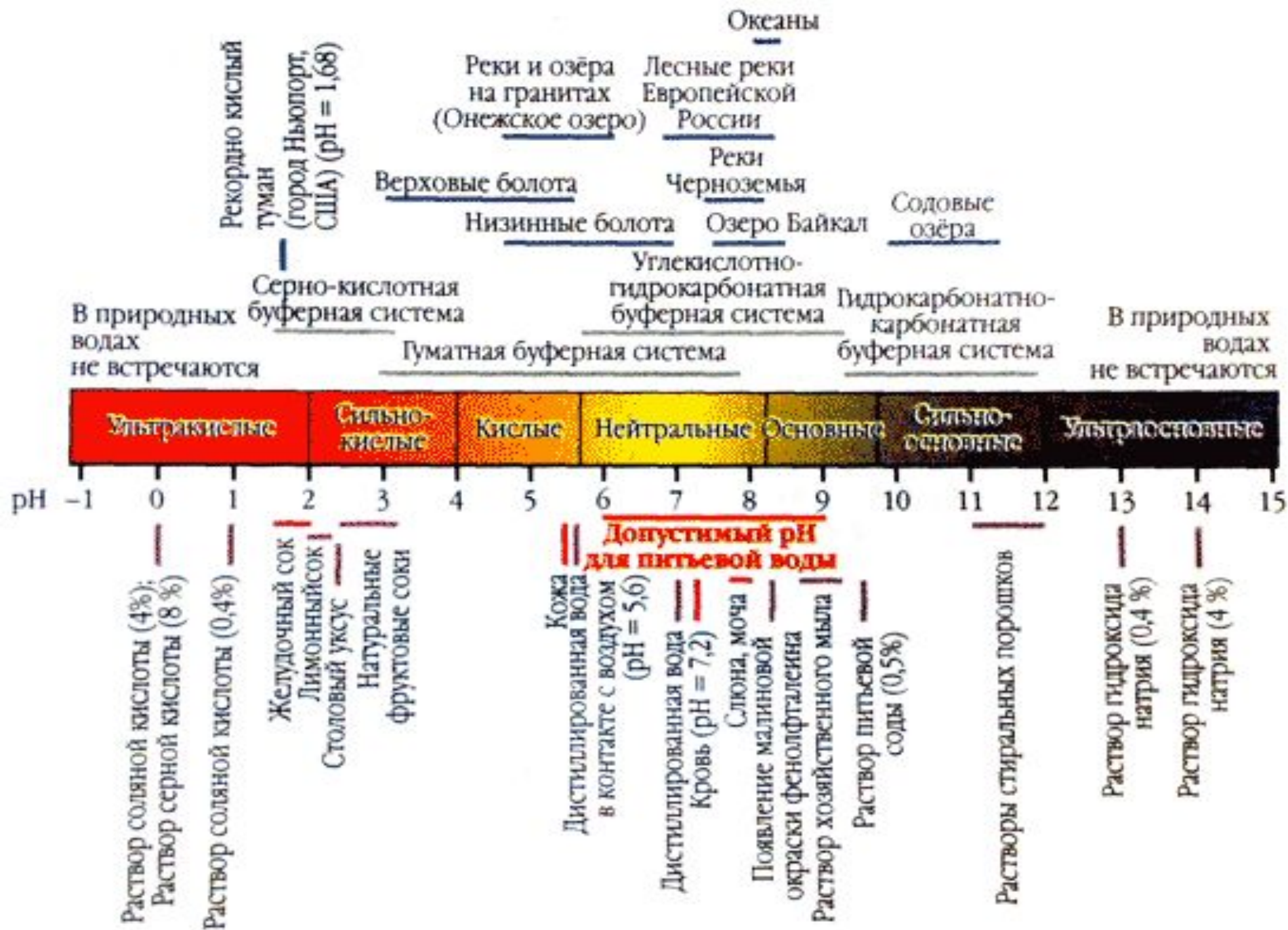
Основные речные системы протекают по разнообразным типам пород, захватывая растворенные продукты реакций выветривания. Наиболее легко выветриваемыми породами являются известняки ( $\text{CaCO}_3$ ). Ион кальция здесь выступает в качестве индикатора такого процесса выветривания. В пресных водах, происходящих из областей с активными процессами выветривания увеличивается преобладание кальция над натрием.

На химию основных растворенных ионов рек влияет испарение. Испарение увеличивает общее количество ионов в речной воде. Из-за образования  $\text{CaCO}_3$  из воды удаляется ион кальция. Большинство почвенных вод, питающих реки и грунтовые воды, имеют околонеутральный pH.

# *Минерализация и химический состав воды озер*

Химический состав характеризуется варьированием в очень широких пределах. Реки с минерализацией воды свыше 100-200 мг/л, в каких бы условиях они ни находились, - очень редкое явление, в то время как минерализация воды озер бывает от очень низкой, в несколько десятков мг/л (т.е. мало отличающейся от дождевом) до очень высокой 3-3,5% (соляные озера с рассолом до предела насыщенного солями). Различие в минерализации отражается и на ионном составе воды озер. В нем наблюдаются закономерности, которые свойственны и химическому составу речной воды.





# *Химия морской воды. Соленость и ионная сила воды*

Существуют три основных свойства, которые определяют специфику химических процессов морской воды:

- 1) высокая ионная сила морской воды, связанная с соленостью (концентрацией солей);
- 2) химический состав морской воды с высоким содержанием ионов натрия и хлора;
- 3) закон Дитмара, согласно которому количественные соотношения между главными компонентами основного солевого состава всегда постоянны.

***Соленость воды.*** Соленость определяется как вес в граммах неорганических ионов в 1 кг воды. Воды открытого океана имеют соленость порядка 32–37 г/л. Плотность поверхностной соленой воды 1,028 г/см<sup>3</sup> при 0 °С. На глубине плотность выше. Морская вода, содержащая 3,5 % солей, не имеет температурного максимума плотности, что является одним из ее важных отличий от пресной воды. Чем морская вода холоднее, тем тяжелее, вплоть до температуры –2 °С, когда в ней появляются кристаллы льда.

Соленость морских вод различна: Балтийское море — 5 г/л, Черное море — 18 г/л, Красное — 41 г/л, Мертвое — 260–310 г/л.

Соленость и ионный состав морской воды оставались примерно постоянными в течение последних 900 млн лет.

***Активность.*** Свойства морской воды как концентрированной системы существенно отличаются от свойств идеальных растворов. Поэтому в физико-химии морских вод необходимо учитывать снижение реакционной способности ионов путем введения так называемой *активности*. В теории растворов рассматривают термодинамическую активность. На практике применяется более простой подход. Эффективная концентрация ионов вычисляется с помощью коэффициента активности. *Активная концентрация* равна произведению концентрации, выраженной в моль/л, на коэффициент активности.

Морская вода слишком сложная система, чтобы измерить коэффициенты активности всех ионов. Однако для некоторых они известны. Например, для Са коэффициент активности равен 0,26, для карбонат-иона — 0,20.



Среди катионов в водах Мирового океана преобладающими являются в порядке убывания: натрий — 0,47, магний — 0,053, калий — 0,01, кальций — менее 0,01 моль/л; из анионов: хлор — 0,55, сульфат-анион — 0,028, ионы — 0,003 моль/л.  $-3\text{HCO}$

*Независимо от абсолютных концентраций ионов количественные соотношения между главными компонентами остаются постоянными. Эта зависимость носит название закона Дитмара.*

Под *хлорностью* воды принимают число грамм-ионов хлора, эквивалентное сумме ионов галогенов, содержащихся в 1 кг воды, осаждаемых нитратом серебра. В качестве единицы измерения хлорности принято использовать специальную единицу — *промилле* (тысячная доля). Концентрация, выраженная в промилле, равна количеству грамм вещества в 1 кг раствора.

## *Химический состав неосновных ионов.* В

химии морской воды преобладают семь основных ионов. Однако оказалось, что в ней есть и другие ионы и элементы (практически вся таблица элементов Менделеева). Концентрации растворенных металлов достаточно малы — обычно порядка наномоль на литр. Наличие металлов связано с различными источниками. Это:

- 1) окислительно-восстановительные реакции на океаническом (морском) дне;
- 2) атмосферные процессы;
- 3) привнесение ионов металлов с речной водой.

В настоящее время эти процессы активизировались в связи с антропогенной деятельностью (сжигание угля, плавление металлов).

# Эвтрофикация

Насыщение водоёмов биогенными элементами, сопровождающееся ростом биологической продуктивности водных бассейнов. Эвтрофикация может быть результатом как естественного старения водоёма, так и антропогенных воздействий. Основные химические элементы, способствующие эвтрофикации — фосфор и азот. В некоторых случаях используется термин «гипертрофизация».

# *Повышенная мутность воды как результат эвтрофикации*








# Эвтрофикация







Эвтрофные водоёмы характеризуются обильным планктоном. Несбалансированная эвтрофикация может приводить к бурному развитию водорослей (цветение воды), и появлению в воде цианобактерий, которые в период цветения выделяют токсины способные вызвать отравление людей и животных, а также приводит к дефициту кислорода, заморам рыб и животных. Этот процесс можно объяснить малым проникновением солнечных лучей вглубь водоёма и, как следствие, отсутствием фотосинтеза у надонных растений, а значит и кислорода.

# *Антропогенная эвтрофикация*

Основные антропогенные источники фосфора и азота: необработанные сточные воды (в особенности из животноводческих комплексов) и смыв удобрений с полей.

Во многих странах запрещено использование ортофосфата натрия в стиральных порошках для уменьшения эвтрофикации водоёмов. В частности, с начала 2010-х годов в странах ЕС постепенно вводятся ограничения на использование фосфатов в бытовых стиральных порошках на уровне не более 0,3 – 0,5 грамма фосфора на цикл стирки.

# *Физико-химические методы очистки сточных вод*

## *Основные методы очистки*

- сорбция;
- обратный осмос;
- флотация;
- нейтрализация;
- выпаривание;
- ионообменная очистка;
- кристаллизация;
- электрохимическая обработка.

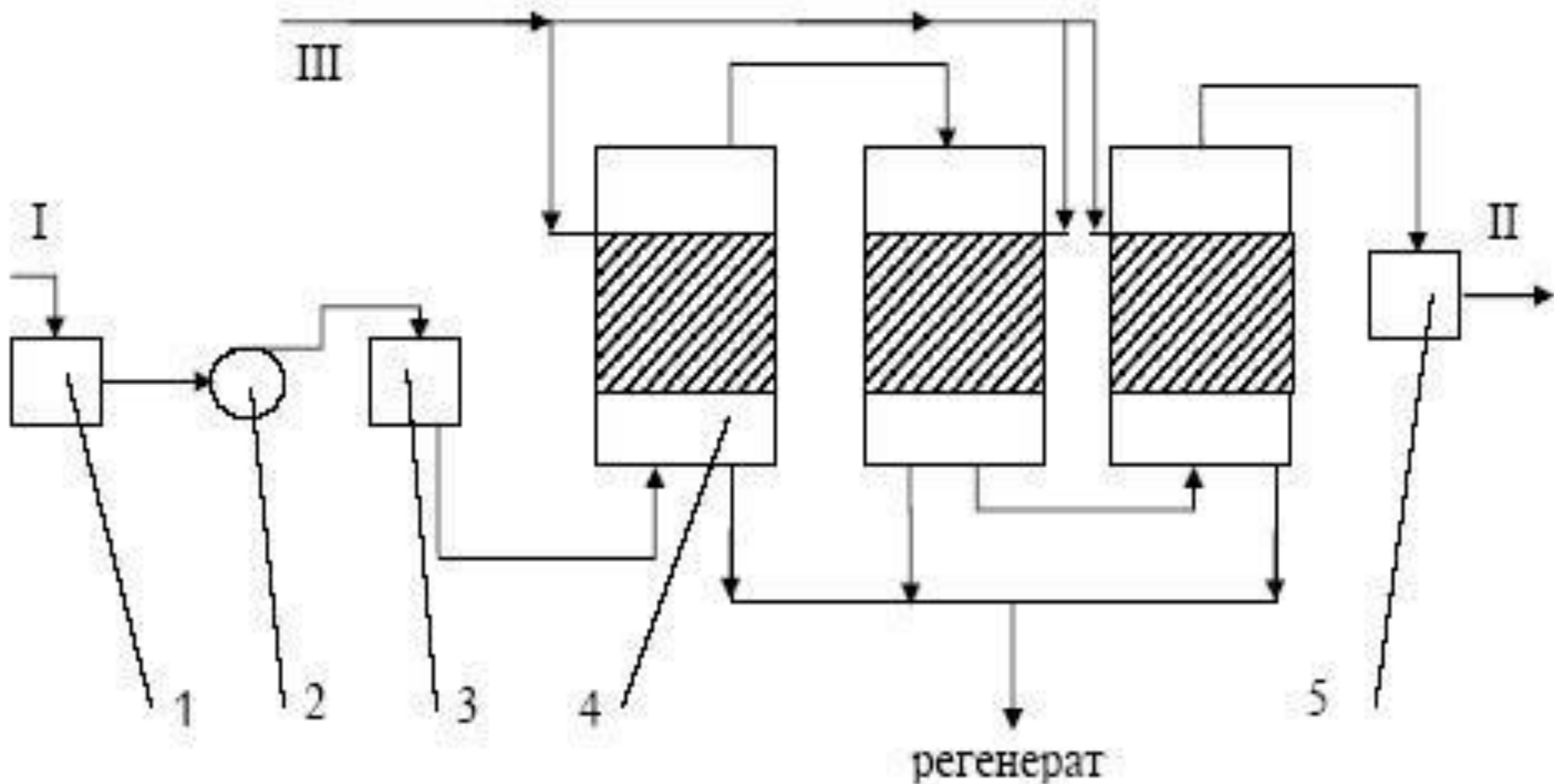
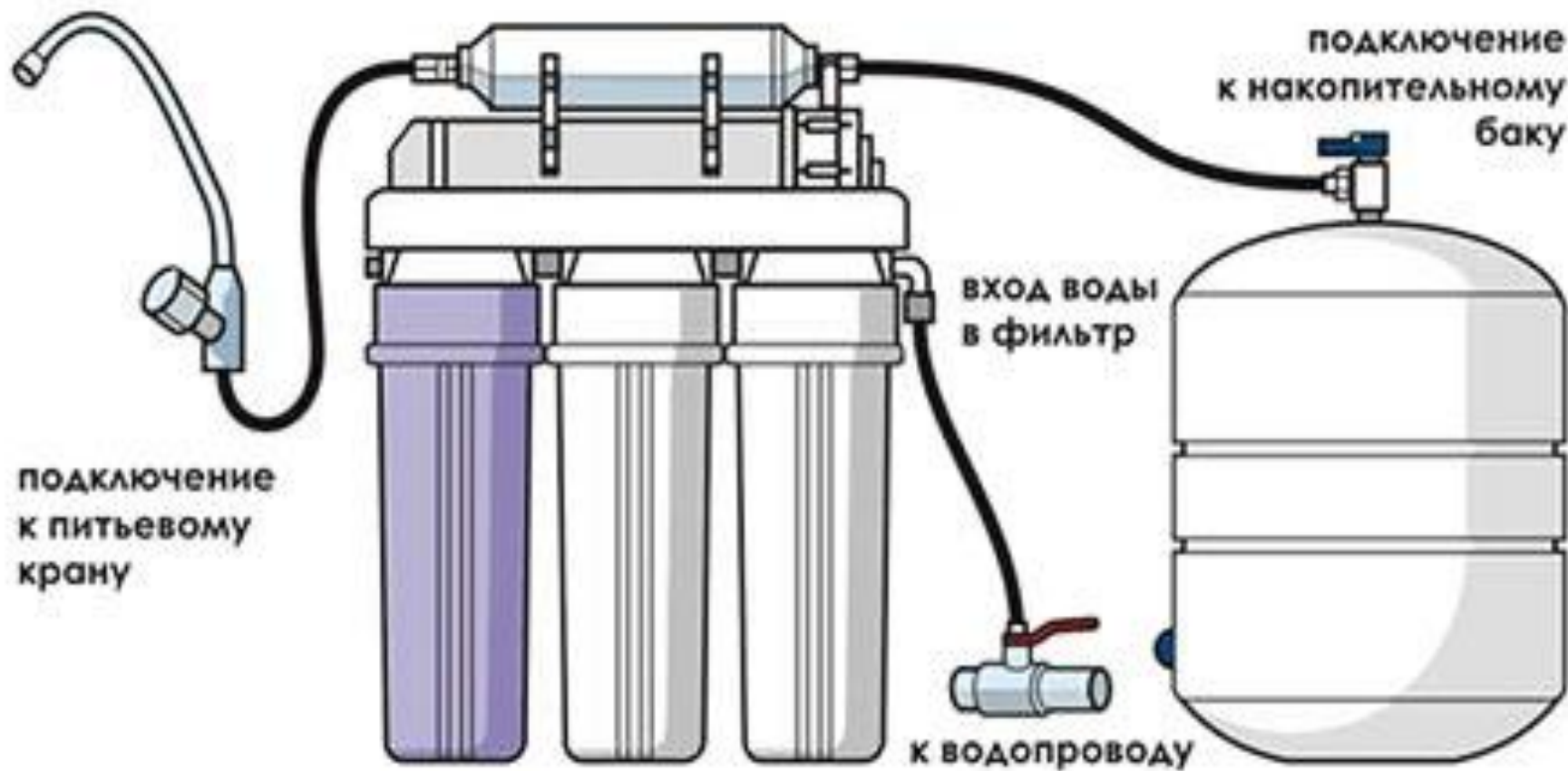
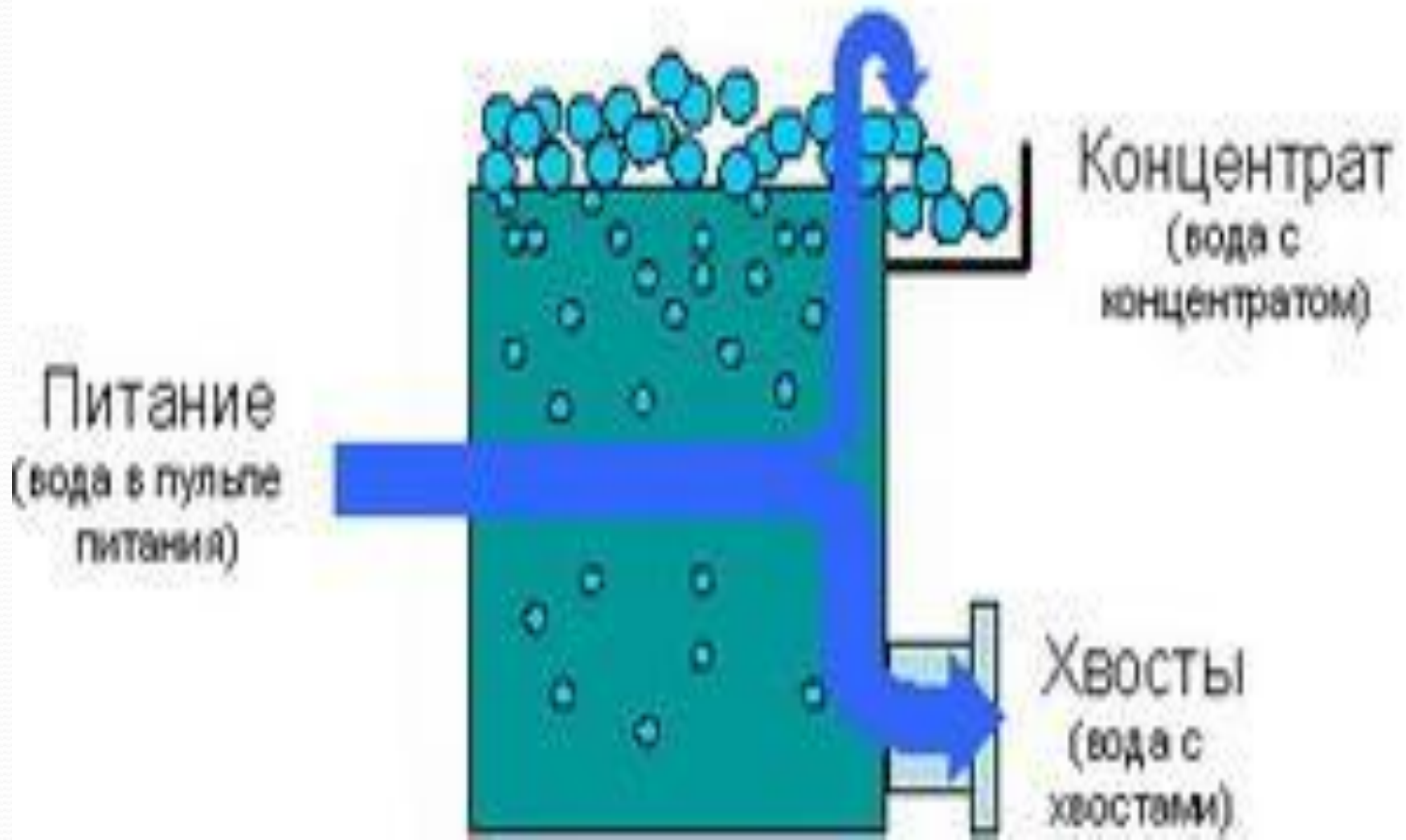


Схема сорбционной установки непрерывного действия: I – подача сточной воды; II – отвод очищенной воды; III – подача пара: 1 – усреднитель; 2 – насос; 3 – фильтр; 4 – колонна; 5 – емкость

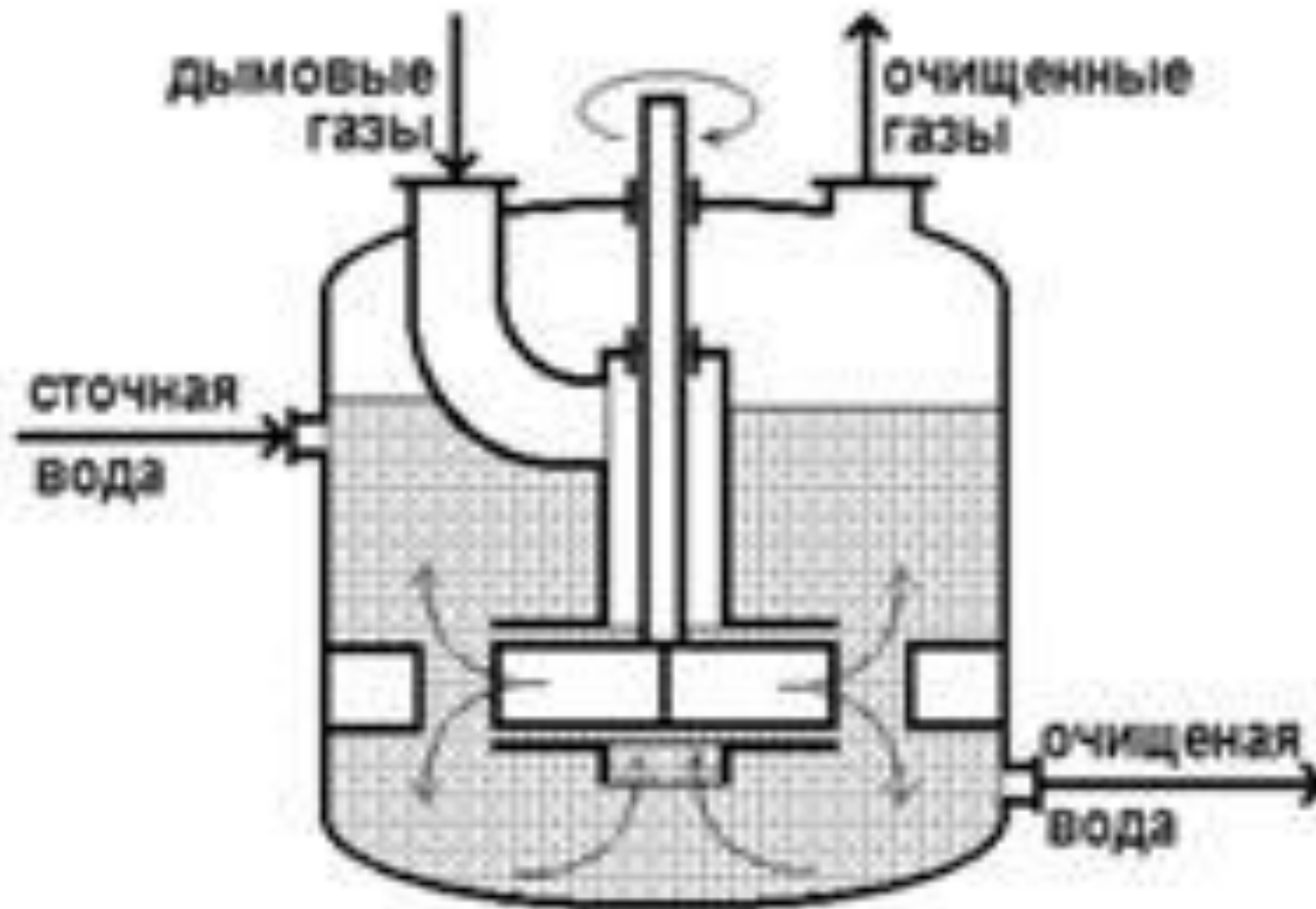


Обратный осмос

# Пенная флотация

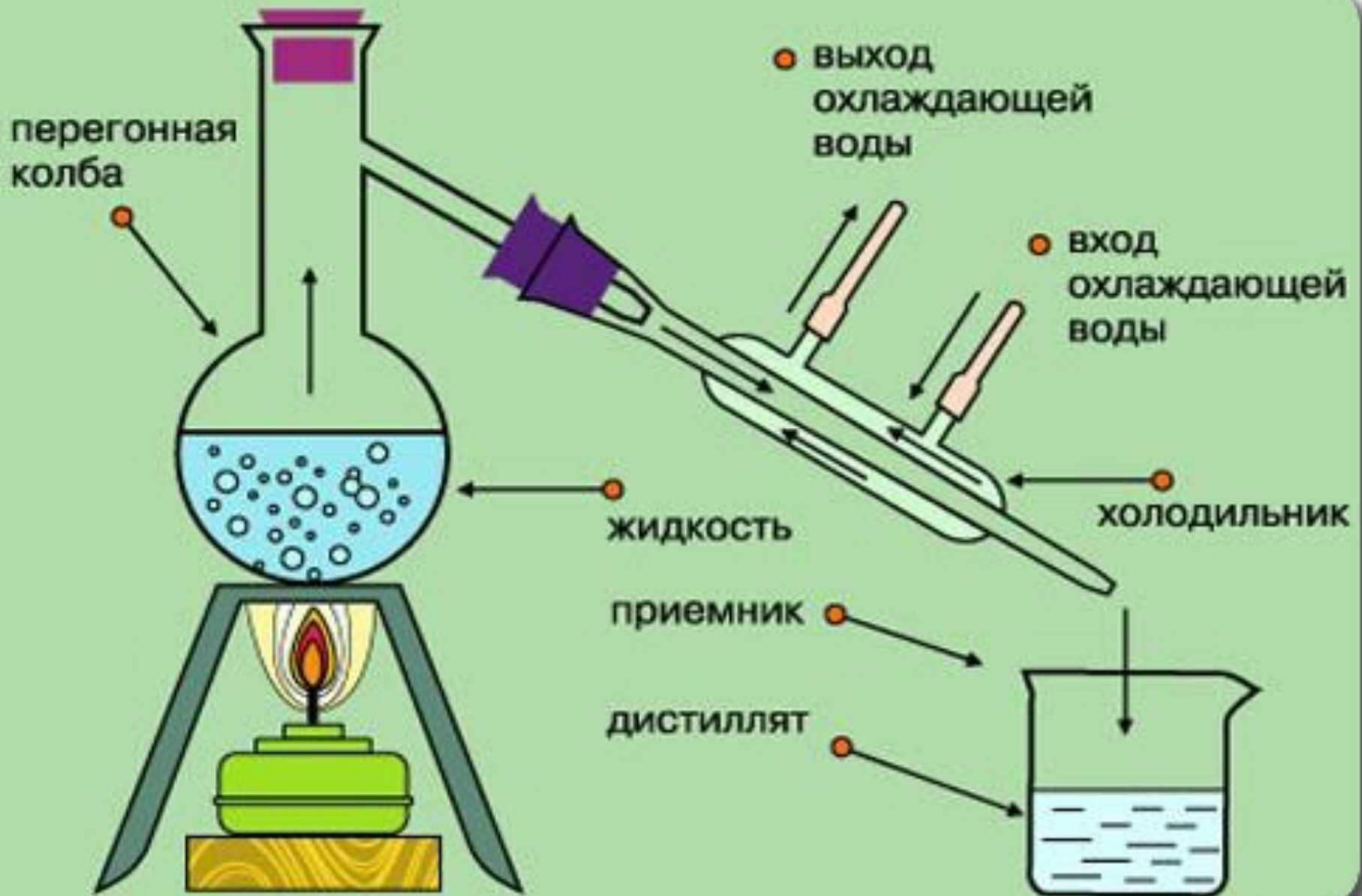




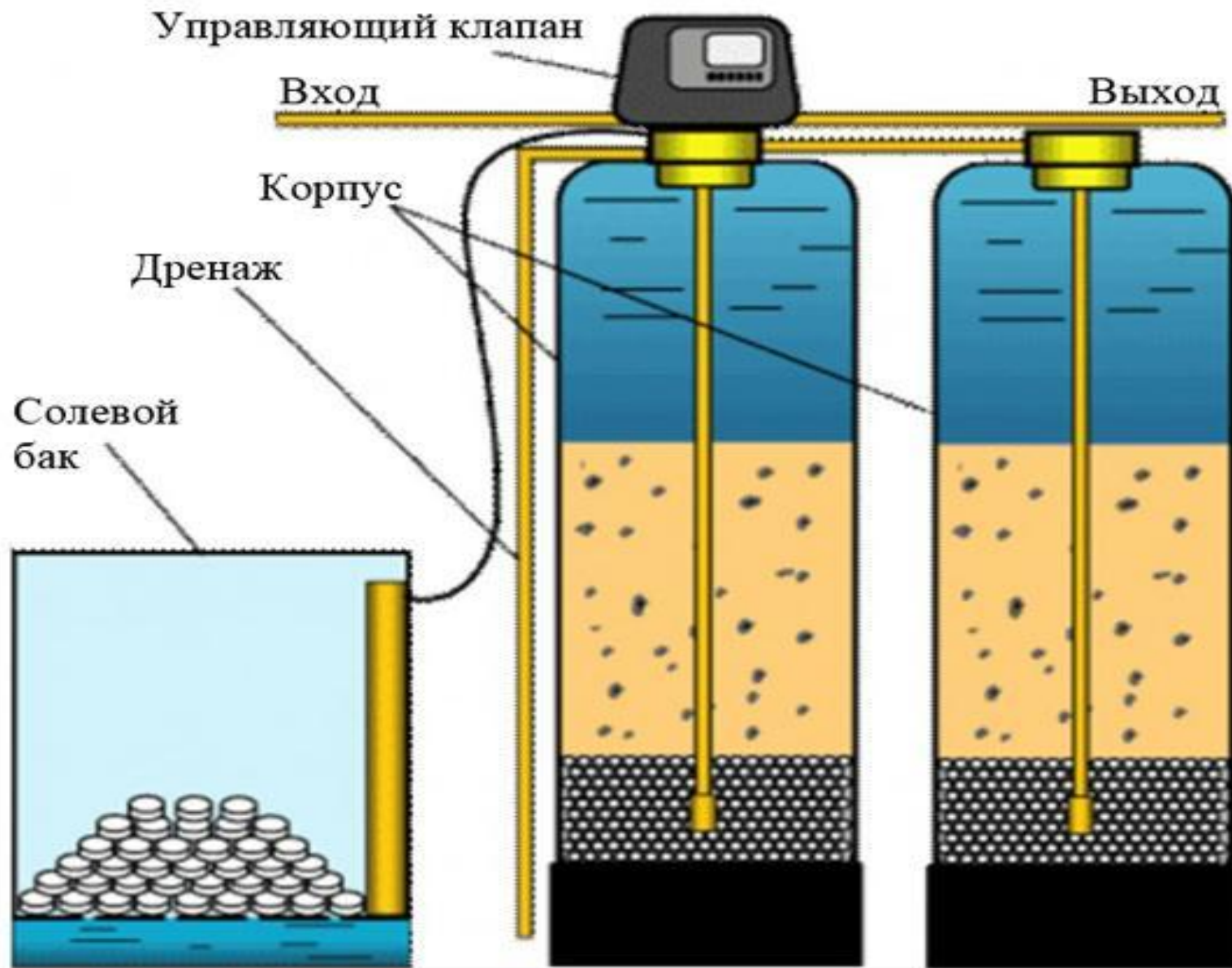


Нейтрализация

# Выпаривание



# Ионообменная очистка



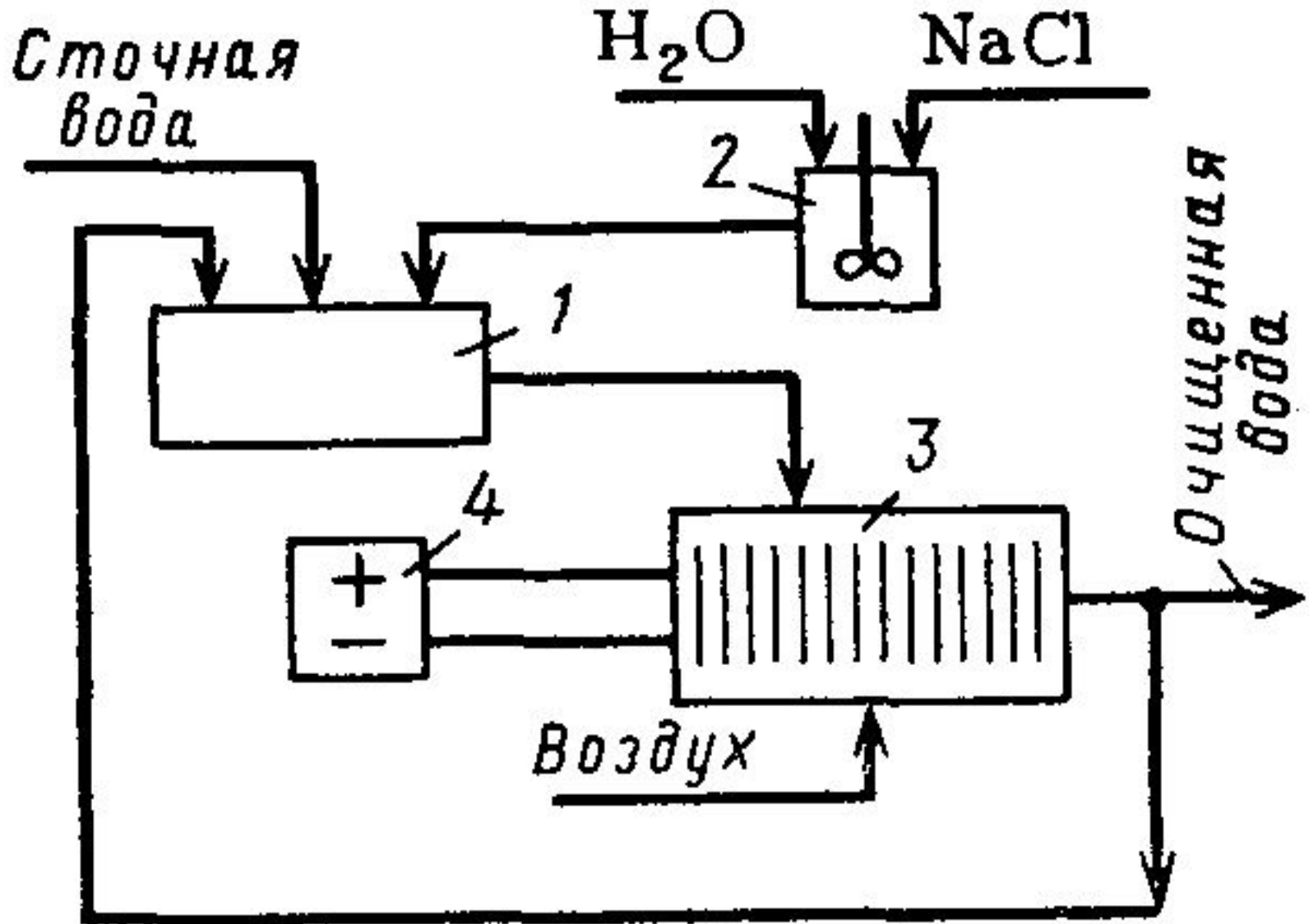


# Кристаллизация



**замерзание воды**

# Электрохимическая обработка очистка сточных вод



# *Океаны: Процессы в дельтах*



*Состав основных ионов  
в пресной и морской воде в моль \* л<sup>-1</sup>*

	<b>Речная вода</b>	<b>Морская вода</b>
<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>0,23</b>	<b>470</b>
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>0,14</b>	<b>53</b>
<b>K<sup>+</sup></b>	<b>0,03</b>	<b>10</b>
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>0,33</b>	<b>10</b>
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> / SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> / Cl</b>	<b>0,85 / 0,09 / 0,16</b>	<b>2 / 28 / 550</b>
<b>Si</b>	<b>0,16</b>	<b>0,1</b>



# *Потоки море - воздух*





# В атмосферном воздухе всегда находится определённое количество водяных паров





# *Эвапориты*



## *Катионный обмен*

В процессе ионного обмена на глинистых минералах, перемещающихся из речной воды в морскую, удаляется около 26 % от речного притока  $\text{Na}^+$  в океаны и существенны процессы удаления  $\text{K}^+$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Глинистые минералы служат также заметным источником  $\text{Ca}^{2+}$  в океаны, добавляя лишние 8 % к притоку с реками. Однако эти современные значения, по-видимому, вдвое больше долговременных величин из-за влияния необычайно высоких скоростей послеледникового привноса взвешенного твердого материала.

## *Осаждение карбонатов*

Поверхностная морская вода пересыщена в отношении кальцита в три раза. Абиогенное осаждение  $\text{CaCO}_3$  представляется ограниченным и привязанным к географически и геохимически необычным условиям. В самом деле, вероятно, что большие области континентальных шельфов в современных океанах, образовавшиеся во время поднятия уровня моря в последние 11000 лет, действительно составляют около 45 % глобальных отложений карбонатов. Эти глубинные морские отложения, в среднем около 0,5 км по толщине, покрывают примерно половину поверхности глубокого океанического дна. Богатые карбонатами илы состоят из скелетов фитопланктона и зоопланктона.



# *Антропогенное воздействие на главные ионы в морской воде*

Локальное антропогенное загрязнение морской среды обычно мало в масштабах планеты, но носит непрерывный характер, легко распределяется в морской среде на большие расстояния и постепенно перерастает в глобальное антропогенное загрязнение океана.

Существует два механизма загрязнения природной водной среды: токсическое и эвтрофирование.

Под токсическим загрязнением понимают внесение в водную среду токсических компонентов, таких как ионы тяжелых металлов, хлорированные углеводороды, нефтепродукты, канцерогенные вещества. Вещества являются опасными, прежде всего для биоты водных экосистем, а также ухудшают качество воды в такой степени, что это представляет угрозу для здоровья населения и ограничивает режимы водопользования.

Эвтрофирование – это явление избыточного поступления в водную среду биогенных элементов (соединения фосфора, азота и кремния), являющихся питательными веществами для водной флоры и фауны, что обуславливает избыточную продукцию планктонных водорослей и ухудшает условия ее утилизации. кислорода в воде.



# *Следовые химические компоненты в морской воде*

В химии морской воды преобладает семь основных ионов, но в ней присутствуют также все остальные элементы, хотя и находящиеся часто в крайне низких концентрациях.

Растворенные в морской воде металлы происходят из различных источников, например, в результате растворения чувствительных к окислительно-восстановительным условиям металлов. В целом более важен привнос из атмосферы и с реками. Сдвиг в сторону увеличения атмосферного источника для некоторых металлов может вызвать возрастание их концентраций в водах открытого океана, поскольку металлы, привносимые с реками, обычно удаляются в дельтах.



*Спасибо за внимание!*