

**Министерство образования Российской Федерации
РОСТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
для студентов химического факультета**

ВОДОПОДГОТОВКА

Ростов-на-Дону

2001 г

С.Н. Свирская, И.Л. Трубников, А.О. Летовальцев

**Методическое пособие
для студентов химического
факультета**

ВОДОПОДГОТОВКА

Предназначено для изучения курса «Химическая технология и моделирование технологических процессов».

**Печатается по решению кафедры общей и неорганической химии
Ростовского государственного университета. Протокол №**

Отв. редактор – доктор хим. наук, профессор Лупейко Т.Г.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Введение.....	4.
2. Водоподготовка.....	6.
2.1. Осветление воды.....	6.
2.2. Обеззараживание воды.....	8.
2.3. Жесткость воды.....	10.
2.4. Обессоливание воды.....	16.
2.5. Дегазация.....	19.
2.6. Обезжелезивание.....	19.
3. Тест-методы	20.
4. Литература.....	23.

1. ВВЕДЕНИЕ

Вода – устойчивое соединение водорода с кислородом, жидкость без запаха, вкуса и цвета.

Вода – одно из самых распространенных на Земле соединений. Количество воды на поверхности Земли оценивается в $1,39 \cdot 10^{18}$ т, большая часть её содержится в морях и океанах. В глубинных слоях Земли содержится значительно больше воды, чем на поверхности (по-видимому, не менее чем на порядок).

Природная вода представляет собой сложную многокомпонентную систему, в состав которой входят минеральные вещества, газы, коллоидные и крупнодисперсные частицы, а также микроорганизмы.

По величине минерализации различают следующие природные воды:

- ультрапресные – до 0,2 г/л;
- пресные – 0,2-0,5 г/л;
- слабоминерализованные – 0,5-1,0 г/л;
- солёные – 3-10 г/л;
- с повышенной солёностью – 10-35 г/л;
- переходные к рассолам – 35-50 г/л;
- рассолы – более 50 г/л.

К макрокомпонентам природной воды относятся катионогенные Ca, Mg, Na, K, Fe и анионогенные элементы Si, C, S, CO₂. К микрокомпонентам природной воды относятся редкие и рудные элементы, например, B, Li, Rb, Cs, Zn, Bi, Be, W, U, Br, I, и др. Основные газы, содержащиеся в природной воде – CO₂, O₂, N₂, (характерны как для поверхностных, так и для глубинных ус-

ловий), CH_4 , CO , H_2 (более типичны для подземных вод и для вод вулканически активных областей).

В зависимости от назначения потребляемая вода условно подразделяется на промышленную и питьевую; в каждой содержание примесей регламентируется соответствующим ГОСТом.

К питьевой воде предъявляются особые требования в отношении вкуса, цвета, запаха. Она в первую очередь освобождается от бактерий. Общее число микроорганизмов в 1 мл питьевой воды должно быть не выше 100, число бактерий группы кишечных палочек (Коли-индекс) – не более 3.

Содержание примесей, которые влияют на органолептические свойства воды (вкус, цвет, запах) и встречаются в природной воде или добавляются к воде при её переработке, не должно превышать (мг/л):

- железа (Fe^{+2} , Fe^{+3}) – 0,3;
- марганец (Mn^{+2}) – 0,1;
- медь (Cu^{+2}) – 1,0;
- цинк (Zn^{+2}) – 5,0;
- Полифосфаты (PO_4^{-3}) – 3,5;
- Сульфаты (SO_4^{-2}) – 500,0;
- Хлориды (Cl^-) – 350,0.

Общая жесткость питьевой воды должна быть не выше 7 мг-экв/л, сухой остаток – 1000 мг/л, pH – от 6,0-9,0. Для питьевой воды, подаваемой без специальной обработки, по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы допускаются следующие показатели:

- Сухой остаток – до 1500 мг/л,
- Общая жесткость – до 10 мг-экв/л,
- Содержание железа – до 1,0 мг/л,
- Содержание марганца – до 0,5 мг/л.

Промышленная (техническая) вода расходуется промышленными предприятиями. В одних случаях вода служит сырьем и реагентом, а в других

- вода употребляется как растворитель, теплоноситель или охлаждающий агент. В целом по всем отраслям промышленности 70-75 % от общего расхода воду применяют как хладагент по циркуляционной схеме. В этом случае вода лишь нагревается и практически не загрязняется. Главные источники загрязнения охлаждающей воды систем циркуляционного водоснабжения – вода, добавляемая в системы для восполнения неизбежных потерь, и атмосферный воздух, из которого вымываются в охладителях воды взвешенные вещества и газы.

2. ВОДОПОДГОТОВКА

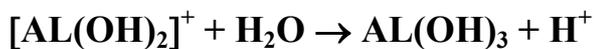
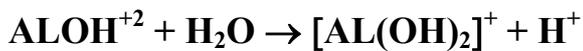
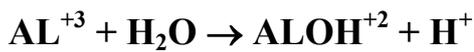
Комплекс технологических процессов обработки и очистки воды для приведения её качества в соответствие с требованиями потребителей называется водоподготовкой. Качество воды характеризуется следующими основными показателями: органолептическими, общим солесодержанием, жёсткостью, активной реакцией воды, окисляемостью и др.

2.1. Осветление воды.

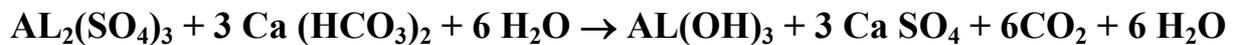
В зависимости от природы содержащихся в воде диспергированных примесей различают мутные и цветные воды. В мутных водах преобладают неорганические примеси (кремневая кислота, алюмосиликаты). Цветность природных вод обусловлена присутствием солей железа гуминовых кислот (гуматами). Прозрачность воды измеряется толщиной слоя воды, через который можно различать изображение креста или определенного шрифта. Цвет воды устанавливают измерением её оптической плотности на спектрофотометре при различных длинах волн проходящего света. Обработка воды с целью удаления коллоидных и грубодисперсных примесей называется осветлением. Осветляют воду коагуляцией. Коагуляция – процесс соединения коллоидных частиц друг с другом, сопровождающийся уменьшением дисперс-

ности. Коллоидные примеси природных вод имеют обычно отрицательный электрический заряд и коагулируют при введении электролитов или коллоидов противоположного знака, а также при повышении температуры. В качестве коагулянтов применяют соли поливалентных металлов сильных кислот ($AL_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$, $Fe SO_4 \cdot 7 H_2O$, $Fe CC_3 \cdot 6 H_2O$), гидролизующихся с образованием труднорастворимых оснований $AL(OH)_3$, $Fe(OH)_3$.

Например:



Образующиеся ионы водорода связываются гидрокарбонатами HCO_3^- природных вод. Происходящее при растворении коагулянта в воде, можно выразить уравнением:



Для нормального протекания процесса коагуляции непременным условием является наличие в воде определённой щелочности. В противном случае гидролиз задерживается на промежуточной стадии, и в осветленной воде появляются ионы алюминия или железа. При малой щелочности исходную воду подщелачивают известью, едким натром, содой. Образующиеся гидроксиды $AL(OH)_3$ и $Fe(OH)_3$ в первый момент находятся в коллоидном состоянии, но под влиянием анионов, содержащихся в воде (SO_4^{-2} , CC^-), коагулируют. Образующиеся при диссоциации коагулянта ионы Fe^{+3} и AL^{+3} способствуют коагуляции отрицательно заряженных коллоидных частиц примесей.

Коллоидные частицы гидроксидов коагулянтов имеют положительный заряд, поэтому возможна также взаимная коагуляция коллоидных примесей воды и частиц коагулянта.

Перечисленные процессы ведут к тому, что устойчивость суспензированных и коллоидных примесей резко снижается. Образующиеся при коагуляции коллоидных частиц коагулянтов микрохлопья быстро растут в результате адсорбции частично или полностью потерявших заряд коллоидных частиц примесей воды. Растущие хлопья коагулянта при осаждении под действием силы тяжести захватывают частицы взвеси, что способствует полному осветлению воды. Чем крупнее образующиеся хлопья, тем полнее и быстрее идет осветление. Образовавшуюся хлопьевидную массу выделяют из воды в отстойниках или специальных осветлителях, напорных или открытых фильтрах и контактных осветлителях с загрузкой из зернистых материалов (кварцевый песок, дроблённый антрацит, керамзит).

Таким образом, эффект осветления и обесцвечивания определяется рядом факторов:

- количеством вводимого коагулянта;
- свойствами обрабатываемой воды;
- величиной рН;
- температурой.

2.2. Обеззараживание воды

Наличие в воде болезнетворных микроорганизмов и вирусов делает её непригодной для хозяйственно-питьевых нужд, а присутствие в воде некоторых видов микроорганизмов (например: нитчатых, сульфатовосстанавливающих бактерий, железобактерий) вызывает биологическое обрастание, а иногда и разрушение трубопроводов и оборудования.

Обеззараживают воду, чтобы снизить её бактериальное загрязнение. К химическим методам обеззараживания относится обработка воды свободным

хлором и его кислородными соединениями, хлораминами – органическими и неорганическими, озоном.

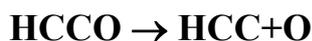
Из физических методов в практике обеззараживания наибольшее распространение получило облучение воды ультрафиолетовыми лучами с длиной волны от 200 до 300 нм.

Наиболее распространено хлорирование воды жидким или газообразным CCl_2 , солями NaCClO , $\text{Ca}(\text{CClO})_2$.

Газообразный хлор, растворяясь в воде, взаимодействует с ней

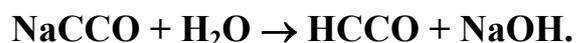


Образующаяся хлорноватистая кислота HCClO легко разлагается, образуя свободный кислород



Обеззараживающим агентом является хлор, хлорноватистая кислота и кислород, выделяющийся при её разложении.

Обеззараживающее действие солей хлорноватистой кислоты основано на их гидролизе, в результате которого образуется HCClO .



Дозу хлора выбирают таким образом, чтобы после окисления всех примесей в воде осталось некоторое избыточное количество хлора. После 30-ти минутного контакта хлора с водой остаточного хлора должно быть не более 0,5 мг/л и не менее 0,3 мг/л при выходе с очистных сооружений.

2.3. Жесткость воды и методы её устранения

Ионы Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Fe^{+3} обуславливают жесткость природных вод. Так как концентрация Fe^{+2} и Fe^{+3} в воде незначительна, то общая жесткость природных вод характеризуется суммой ионов Ca^{+2} и Mg^{+2} . Гидрокарбонаты кальция и магния ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) и их карбонаты (CaCO_3 , MgCO_3) определяют карбонатную жесткость. При нагревании гидрокарбонаты разлагаются на CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ с выделением CO_2 .



Растворимость карбонатов кальция и магния значительно меньше, чем гидрокарбонатов, поэтому при нагревании жесткость воды снижается. Жесткость воды, обусловленная гидрокарбонатами кальция и магния, называется временной. Разность между карбонатной и временной жесткостью называется остаточной жесткостью, которая обусловлена карбонатами, оставшимися в растворе.

Жесткость воды колеблется в широких пределах: от 0,1 – 0,2 мг-экв/литр в реках и озерах, расположенных в зонах тайги и тундры, до 80-100 мг-экв/литр и более в подземных водах, морях и океанах.

В поверхностных водоисточниках где преобладает, как правило, карбонатная жесткость (70-80% от общей), а магниевая жесткость обычно не превышает 30% от общей, наибольшего значения жесткость воды достигает в конце зимы, наименьшего - в период паводка.

Повышенная жесткость воды способствует усиленному образованию накипи в паровых котлах, что значительно снижает интенсивность теплообмена, приводит к большому перерасходу топлива и перегреву металлических поверхностей. Жесткость воды увеличивает расход мыла при стирке, поскольку часть его образует с катионами Ca^{+2} , Mg^{+2} нерастворимый осадок.

Качество тканей, стираемых в жесткой воде, и тканей, при отделке которых она применяется, ухудшается вследствие осаждения на тканях кальциевых и магниевых солей высших жирных кислот мыла. В воде с высокой жесткостью плохо развариваются овощи и мясо, так как катионы Ca^{+2} образуют с белками пищевых продуктов нерастворимые соединения. Большая магниевая жесткость придает горький привкус, поэтому содержание катионов Mg^{+2} в питьевой воде не должно превышать 100 мг/л.

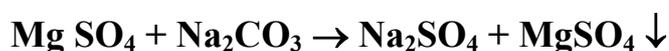
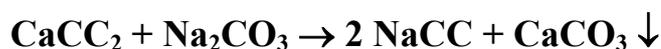
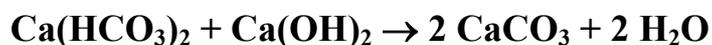
Для устранения или уменьшения жесткости воды применяют специальные методы, которые подразделяют на физические, химические и физико-химические.

Физические способы предусматривают термическую обработку воды, дистилляцию или вымораживание.

Химические способы умягчения воды заключаются в обработке её растворами химических соединений – реагентное умягчение.

Наибольшее промышленное применение из химических методов получили известково-содовый и фосфатный способы умягчения.

Известково-содовый способ заключается в обработке воды сначала известковым молоком, а затем содой. При этом кальциевые соли превращаются в нерастворимый карбонат кальция, магниевые – в гидроксид и карбонат магния:



На рис. 1 представлена схема известково-содового способа умягчения воды. Вода через водораспылитель 1 подаётся в сатуратор 3, куда добавляется гашеная известь, а затем в смеситель 4. В смеситель из дозатора 2 поступает также раствор соды, и поток очищаемой воды с реагентами идет в коническую трубу – реакционную камеру 5. Из реакционной камеры вода попадает в отстойник 6, где происходит отделение нерастворимого осадка – шлама, который удаляется из нижней части отстойника. Умягченная вода проходит фильтр 7, расположенный в верхней части отстойника, и через кольцевой желоб 8 отводится в сборные резервуары и затем - на производство.

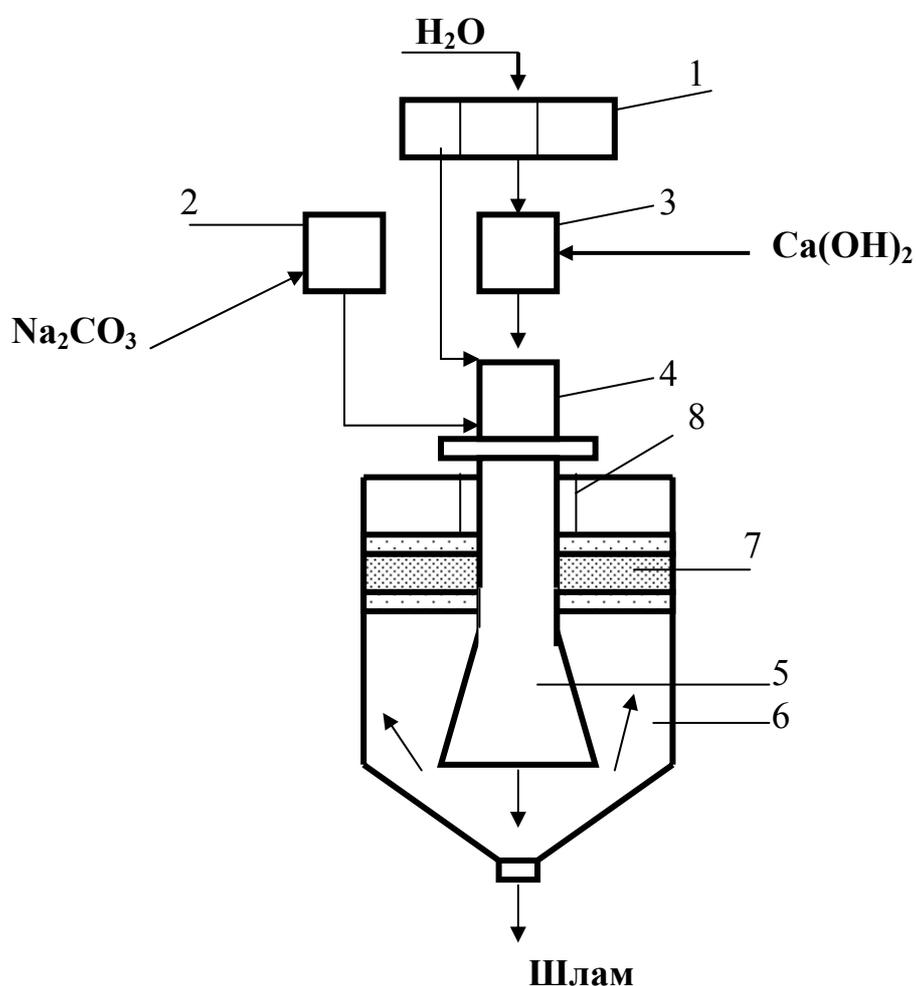
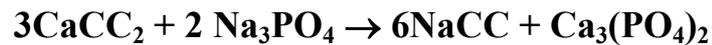
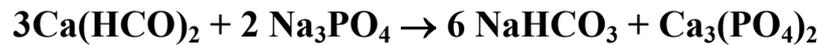


Рис.1 Схема известково-содового способа умягчения воды

Известково-содовый способ является наиболее распространенным и дешевым, но при этом достигается лишь сравнительно грубое умягчение воды (примерно до 0,3 мг-экв/л).

Фосфатный способ состоит в обработке воды фосфатом натрия:



Растворимость фосфатов кальция и магния в воде ничтожно мала, что определяет высокую эффективность фосфатного способа (содержание солей снижается примерно до 0,03 мг-экв/л). Фосфатный способ – достаточно дорогой способ умягчения, поэтому применяется главным образом в комбинированных схемах, в которых основная масса солей удаляется из воды известковым молоком или содой, а доумягчение осуществляется с помощью фосфатов.

Из физико-химических способов наиболее широкое применение находят ионообменные способы, основанные на свойстве некоторых труднорастворимых твердых веществ обменивать свои ионы на ионы солей, растворённых в воде.

Ионообменные смолы – полимерные материалы, содержащие ионогенные группы, способные к обмену ионов при контакте с растворами электролитов.

Ионогенные группы закреплены на молекулярном каркасе (матрице) и диссоциируют, давая полиионы (фиксированные ионы) и подвижные противоионы, компенсирующие заряды полиионов:

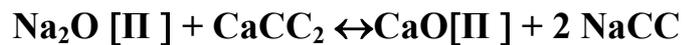


По знаку противоиона различают соответственно катиониты (поликислоты), аниониты (полиоснования) и полиамфолиты (амфотерные иониты, способные осуществлять как катионный, так и анионный обмен).

Катиониты, содержащие подвижные катионы натрия или водорода, называются Na-катионитами и H-катионитами соответственно. Аниониты, содержащие подвижную гидроксильную группу, OH-анионитами.

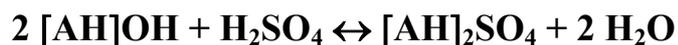
В качестве Na-катионитов применяются алюмосиликаты: глауконий, цеолит, пермутит и др. В качестве H-катионитов применяются сульфированный уголь и другие вещества, к OH-анионитам относятся искусственные смолы сложного состава, например карбамидные.

Катионный обмен с использованием алюмосиликата состава $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ протекает по уравнению:



где П – неучаствующая в обмене часть молекулы.

Анионный обмен можно представить в виде:



Катиониты регенерируют промывкой раствором NaCC или кислотой. Для регенерации анионита его промывают щелочью. Большинство ионообменных процессов проводится в динамических условиях – пропусканием раствора через неподвижный слой сорбента в периодических процессах или противоточным движением раствора и сорбента в непрерывных процессах.

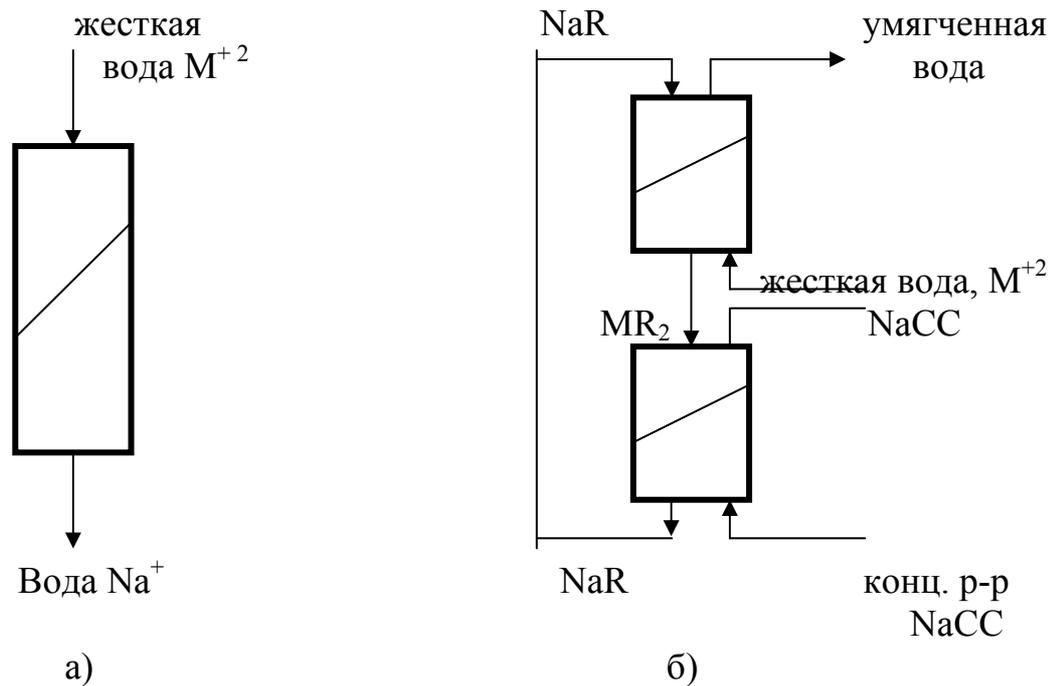


Рис. 2. Схема ионообменного умягчения воды (M-Ca, Mg) на неподвижном слое сорбента (а) и в противотоке (б) с движущимися слоями сорбента (NaR , MR_2) и потоками растворов (умягченная вода и регенерирующий раствор $NaCC$).

В фильтрах с неподвижным слоем сорбента исходные и регенерационные растворы могут подаваться в одном направлении (поточные схемы) или в противоположных направлениях (противоточные схемы).

В непрерывно действующих противоточных аппаратах подвижный сорбент, как правило, перемещается сверху вниз под действием силы тяжести. Конструктивно противоточные аппараты подразделяются на 3 группы:

- со взвешенным или кипящим слоем ионита;
- с непрерывным движением плотного слоя ионита;
- с попеременным движением раствора через неподвижный слой ионита и перемещением слоя ионита при прекращении движения раствора.

2.4. Обессоливание воды

Методы ионного обмена позволяют проводить обессоливание воды.

На рисунке 3 представлена схема обессоливания воды с применением ионитов.

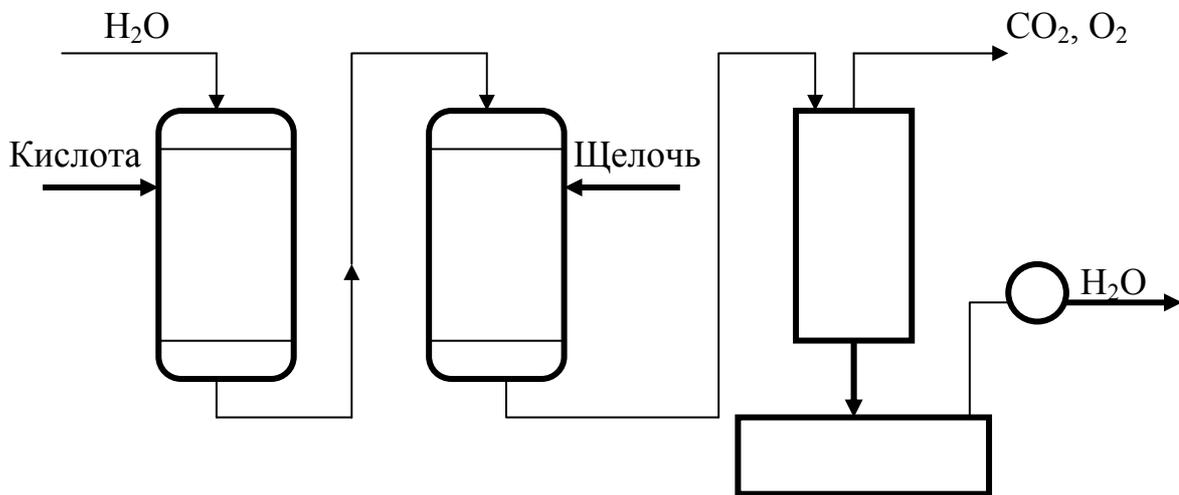
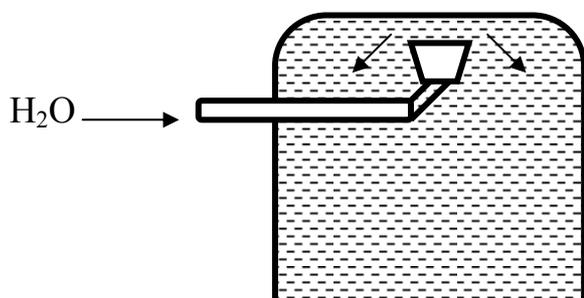


Рис. 3. Схема установки для обессоливания воды ионитами.

1- катионитовый фильтр; 2 – анионитовый фильтр; 3 – дегазатор; 4 –
сборник воды.

Сначала вода равномерно подается в Н-катионитовый фильтр 1. Затем вода поступает в анионитовый фильтр 2 для связывания анионов и далее в дегазатор 3, где происходит выделение растворенных в воде CO_2 , O_2 . Устройство ионообменных фильтров представлено на рис. 4. На слое крупного песка расположены зерна ионита, обеспечивающие удаление из воды соответствующих ионов.



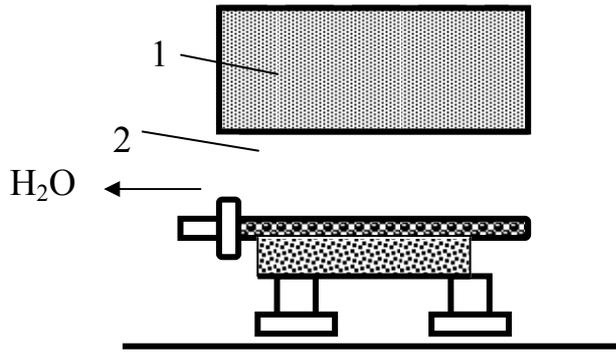


Рис. 4. Ионообменный фильтр

1 – ионит, 2 – песок

Для обессоливания воды широко используют мембранные процессы, например, электродиализ. Электродиализ – разделение растворов под действием электродвижущей силы, которая создаётся по обе стороны ионообменных мембран, проницаемых лишь для катионов, либо только для анионов.

Аппараты с ионообменными перегородками – электродиализаторы (рис.5) состоят из ряда камер (ячеек), по которым перемещаются растворы электролитов. В крайних камерах расположены электроды. Поскольку катионообменные мембраны пропускают лишь катионы, а анионообменные – только анионы, камеры поочерёдно обогащаются и обедняются электролитом. В результате исходный раствор разделяется на два потока - обессоленный и концентрированный.

Электродиализ широко используют для обессоливания морской и солоноватой вод, сахарных растворов, молочной сыворотки, а также для извлечения минерального сырья из соленых вод.



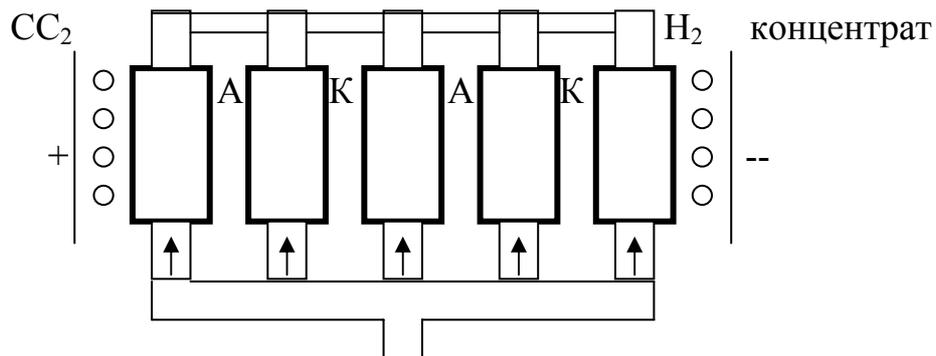


Рис.5 Многокамерный электродиализатор для обессоливания растворов NaCl.

2,4 – ячейки для обеднения электролитом (обессоленная вода).

1,3,5, - ячейки, обогащенные электролитом (концентрат).

А и К – соответственно анионо- и катионообменные мембраны.

Полное обессоливание воды может быть достигнуто также путем её перегонки – дистилляции – на перегонных установках. Дистиллированная вода необходима в производстве химически чистых реактивов, лекарственных препаратов, в лабораторной практике и т. п.

Степень чистоты воды может быть оценена по величине её удельного электрического сопротивления σ

Ф. Кольрауш и А. Хейзваллер показали, что более чистой воде соответствует большая величина её удельного электрического сопротивления σ .

Рассчитанное по формуле максимальное значение удельного электрического сопротивления

$$\sigma = 1/\sqrt{K_w} \cdot \lambda_{\infty}$$

где K_w – ионное произведение воды

λ_{∞} - эквивалентная электропроводность воды при ∞ разбавлении

равно 26,4 мом/см при 18⁰С. Это значение можно назвать «полюсом чистоты». Как правило, в качестве требования к дистиллированной воде фигурирует значение 18 мом/см, но не менее.

2.5. Дегазация

Растворенные в воде газы O₂, CO₂, H₂S повышают её коррозионную активность и неприятный привкус и запах придают H₂S, CH₄. На тепловых электростанциях дегазация – один из важных процессов который осуществляется главным образом, пропусканием через воду пара. При этом в результате нагревания её до температуры кипения при атмосферном давлении или в вакууме растворимость газов снижается, практически, до нуля. Аэрация воды посредством её разбрызгивания используется в основном для устранения CO₂ и H₂S (O₂ не удаляется). Как самостоятельный метод для очистки воды от H₂S аэрацию можно использовать при малых его концентрациях.

Химические методы дегазации применяют главным образом для обескислороживания воды, добавляя к ней различные восстановители (SO₂, Na₂SO₃, Na₂ S₂O₃, гидразин).

2.6. Обезжелезивание

В подземных водах железо обычно находится в виде Fe(HCO₃)₂, в поверхностных водах – в виде тонкодисперсной взвеси гидроксида или входит в состав комплексных органических веществ.

Подземные воды обезжелезивают упрощенной аэрацией (свободным падением воды с высоты 0,4-0,6 м) с последующим фильтрованием через слой зернистого материала. При этом на поверхности зерен выделяется каталитическая плёнка соединений железа, интенсифицирующая обезжелезивание. Метод используют при общем содержании железа до 10 мг/л и рН не менее

6,8. В других случаях и при наличии в воде агрессивного CO_2 применяют аэрацию с помощью специальных аэраторов – градирен с последующим фильтрованием воды через слой зернистого материала. При значительном содержании железа перед фильтрами иногда устанавливают отстойник, где происходят окисление Fe^{+2} в Fe^{+3} и коагуляция образующегося $\text{Fe}(\text{OH})_3$, который задерживается на фильтрах.

Аэрация, совмещаемая с подщелачиванием воды $\text{Ca}(\text{OH})_2$ или Na_2CO_3 и фильтрованием – универсальный метод, позволяющий удалять железо во всех формах из подземных и поверхностных вод.

3. ТЕСТ-МЕТОДЫ

Производства в зависимости от целевого назначения воды предъявляют строго определенные требования к её качеству, к содержанию примесей в ней. Допустимые количества примесей регламентируются соответствующими ГОСТами. Зачастую анализ воды предполагает использование тест-методов.

Тест - методы – это экспрессные, простые и дешёвые приемы обнаружения и определения вещества на месте (on site). Они, как правило, не требуют сложных приёмов подготовки пробы к анализу (например, разделения и концентрирования). При их использовании резко сокращается и во многих случаях отпадает необходимость в использовании дорогостоящего и сложного лабораторного оборудования и самих аналитических лабораторий.

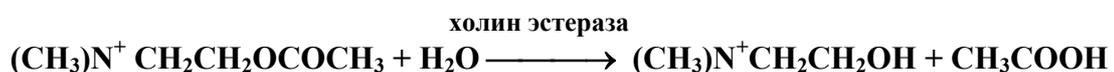
В тест - методах используются химические и биохимические реакции. В основу применения тест - методов положена методология скрининга (просеивания), используемая для анализа большого числа образцов с помощью тщательно отработанных методов качественного и полуколичественного анализа. Эта методология допускает неправильные положительные результаты на присутствие анализируемого компонента. В то же время она полно-

стью исключает неправильные отрицательные результаты. По этой причине все пробы, давшие положительную реакцию (например, на присутствие пестицида в воде), далее изучают с помощью более информативного метода. В свою очередь, все отрицательные результаты скрининга обычно принимают как окончательные без какой-либо дополнительной проверки.

Таким образом, удается значительно сократить как объём, так и стоимость анализа. В то же время, к тест – методам в соответствии с этой методологией предъявляются высокие требования по специфичности наблюдаемого при его применении отклика на присутствие отдельных компонентов в анализируемых образцах.

Общий принцип большей части химических тест – методов заключается в использовании реакций с так называемыми хромогенными, т.е. цветообразующими реагентами. Реакции проводят в таких условиях, чтобы можно было визуально зафиксировать их результат. Этим результатом могут быть интенсивность окрашивания, цвет бумажной полоски или длина окрашенной части индикаторной трубки. В основу биохимических (ферментных) тест – методов положено свойство ионов металлов и органических токсикантов ингибировать (замедлять) процессы превращения веществ в присутствии биологических катализаторов-ферментов.

Принцип их действия можно рассмотреть на примере тест – полоски для определения фосфорорганических веществ (ФОВ). Она представляет собой полоску фильтровальной бумаги, на один из концов которой иммобилизован фермент холин эстераза. Другой конец этой полоски содержит субстрат ацетилхолин, скорость каталитического гидролиза которого подавляется в присутствии ФОВ:



Вместе с субстратом иммобилизовывается обычный кислотно-основной индикатор. Определение ФОВ проводят по окраске зоны индикации тест-полоски после того, как полоска складывается для совмещения пятен, содержащих субстрат и фермент, и на неё наносят исследуемую жидкость (сточная вода, сок овощей или фруктов). Если образец содержит пестицид, то уменьшается скорость ферментативной реакции, что приводит к уменьшению количества выделяющейся при этом кислоты. Это вызывает изменение окраски индикатора. По цветовой шкале можно определить экологичность данного объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Траубе П.Р., Баранова А.Г., практикум по химии воды, М, 1971 г.
2. Кульский Л.А., Даль В.В., Чистая вода и перспективы её сохранения, К., 1978 г.
3. Перельман А.И., Геохимия природных вод, М, 1982 г.
4. Кастальский А.А., Минц Д.М, Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения, М, 1962 г.