

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ГИГИЕНЫ ТРУДА

С. В. АРАБЕЙ, Н. А. ДЗЕРЖИНСКАЯ

МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Учебно-методическое пособие



Минск БГМУ 2025

УДК 614.777(075.8)

ББК 51.20я73

А79

Рекомендовано Научно-методическим советом университета в качестве учебно-методического пособия 26.06.2024 г., протокол № 18

Рецензенты: канд. мед. наук, доц., зав. каф. общей гигиены Белорусского государственного медицинского университета Н. Л. Бацукова; каф. экологической и профилактической медицины Гомельского государственного медицинского университета

Арабей, С. В.

А79 Методы подготовки питьевой воды : учебно-методическое пособие / С. В. Арабей, Н. А. Дзержинская. – Минск : БГМУ, 2025. – 31 с.
ISBN 978-985-21-1799-9.

Содержит характеристику основных и специальных методов подготовки питьевой воды из подземных и поверхностных источников водоснабжения.

Предназначено для студентов 3-го курса медико-профилактического факультета.

УДК 614.777(075.8)

ББК 51.20я73

ISBN 978-985-21-1799-9

© Арабей С. В., Дзержинская Н. А., 2025
© УО «Белорусский государственный медицинский университет», 2025

МОТИВАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕМЫ

Доступность качественной и безопасной питьевой воды имеет важное значение для здоровья человека, является одним из основных его прав, определяет уровень здоровья и качество жизни нации. Современная система водоснабжения и эффективное водопользование способствуют устойчивому развитию страны, вносят существенный вклад в ее экологическую безопасность.

В основе гигиенических требований к качеству воды для питьевых и бытовых нужд лежит принцип безопасности в эпидемическом отношении, безвредности по химическому составу и благоприятности по органолептическим свойствам.

В современных условиях проблема обеспечения населения доброкачественной водой становится все более актуальной. Это вызвано не только новыми научными данными, дефицитом питьевой воды, но и интенсивным химическим и микробиологическим загрязнением источников питьевого водоснабжения.

Цель занятия: изучение методов подготовки, улучшения качества питьевой воды и освоение навыков гигиенической оценки эффективности работы сооружений для очистки воды из подземных и поверхностных источников питьевого водоснабжения.

Задачи занятия:

1. Изучить перечень и порядок расположения сооружений при организации водозабора из поверхностного и подземного водоисточника.
2. Изучить методы осветления и обесцвечивания питьевой воды.
3. Ознакомиться со способами обеззараживания питьевой воды.
4. Изучить специальные методы водоподготовки.

Требования к исходному уровню знаний. Для полного освоения темы студенту необходимо повторить материал из курсов:

- химии: механизм действия коагулянтов;
- нормальной физиологии: физиология жидкостей тела;
- общей гигиены: питьевая вода, методы улучшения качества питьевой воды.

Контрольные вопросы из смежных дисциплин:

1. Вода как универсальный растворитель, физиологическое, санитарно-гигиеническое, эпидемическое значение воды.
2. Химический состав воды и его влияние на здоровье населения.
3. Системы хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Контрольные вопросы по теме занятия:

1. Методы подготовки питьевой воды и их гигиеническая оценка.
2. Осветление и обесцвечивание воды, методы и сооружения.

3. Коагуляция воды, условия применения. Факторы, влияющие на эффективность коагуляции. Определение оптимальной дозы коагулянта.
4. Фильтрация воды. Скорые и медленные фильтры. Контактные осветлители.
5. Специальные методы улучшения качества воды: обезжелезивание, дегазация, дезодорация, умягчение, опреснение, фторирование, обесфторирование воды.

ВВЕДЕНИЕ

Водоподготовка является важной составляющей процесса обеспечения качественной и безопасной водой широкого спектра потребителей. Вода природных источников питьевого водоснабжения, как правило, не соответствует гигиеническим требованиям, предъявляемым к питьевой воде, и требует определенной подготовки перед подачей населению, включающей очистку и обеззараживание.

Основные стадии подготовки питьевой воды из поверхностного и подземного источников представлены на рис. 1 и 2.

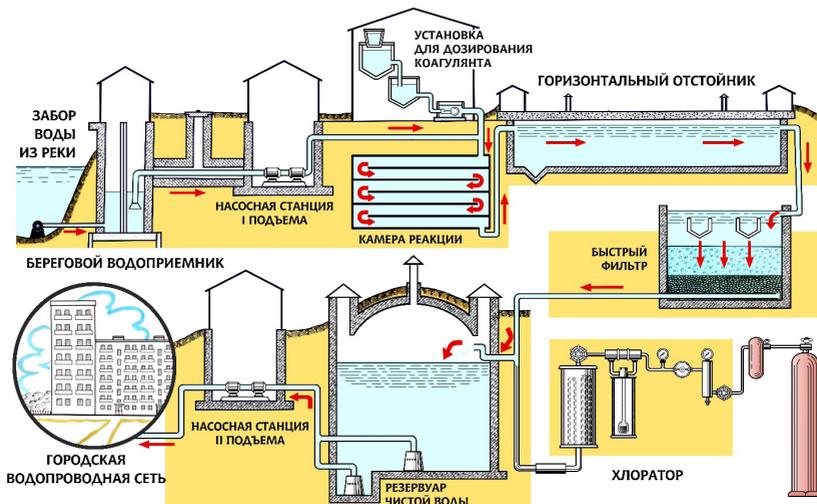


Рис. 1. Схема водопровода из поверхностного источника

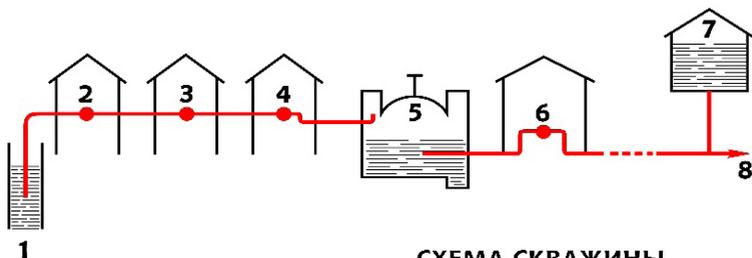


СХЕМА СКВАЖИНЫ

- 1- СКВАЖИНА
- 2- НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ ПЕРВОГО ПОДЪЕМА
- 3- СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПОДГОТОВКИ (ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ)
- 4- ХЛОРИТОРНАЯ
- 5- РЕЗЕРВУАР ЧИСТОЙ ВОДЫ
- 6- НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ ВТОРОГО ПОДЪЕМА
- 7- ВОДОНАПОРНАЯ БАШНЯ
- 8- ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ

СТАТИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ

ДИНАМИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ

ГЛИНА

ИЗВЕСТНЯК

ТВЕРДЫЕ ТРЕЩИНОВАТЫЕ ПОРОДЫ

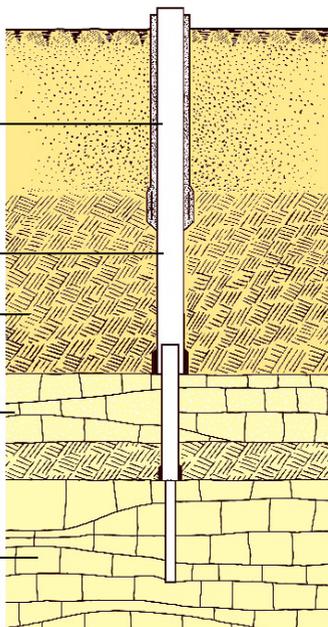


Рис. 2. Схема водопровода из подземного источника

Процесс очистки воды при подготовке ее для питьевого водоснабжения включает снижение концентрации примесей в ней до уровня, обеспечивающего безвредность и безопасность потребления воды человеком, то есть до уровня гигиенических нормативов. К основным методам подготовки питьевой воды относятся осветление, обесцвечивание и обеззараживание (рис. 3).

Выбор способа и метода улучшения качества питьевой воды зависит от вида источника, состава и свойств воды.



Рис. 3. Методы подготовки питьевой воды

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Начальным этапом подготовки воды, содержащей грубодисперсные взвешенные, плавающие и всплывающие примеси размером свыше 150 мкм, а также остатки животных и растительных тканей, листья, ветки, водоросли, насекомых, является прохождение ее через микрофильтр или барабанное сито. Конструктивно барабанное сито и микрофильтр не отличаются друг от друга. Они представляют собой многогранную сварную конструкцию с поперечными и продольными балками, образующими боковую поверхность каркаса барабана, к которой закреплены сетчатые фильтрующие элементы. Последние изготавливаются в виде прямоугольных рам с натянутыми на них поддерживающими и фильтрующими сетками. Размер ячеек сетки квадратного плетения составляет 0,04 × 0,04 мм для микрофильтров, 0,5 × 0,5 мм — для барабанных сит. Обрабатываемая вода подается внутрь постоянно вращающегося барабана и, фильтруясь через сетку, направляется в камеру микрофильтра, откуда далее в трубопровод, подающий воду на другие сооружения. Задержанные загрязнения смываются промывной водой с сеток, находящихся в верхнем положении, и направляются через воронки в канализацию. Микрофильтры и барабанные сита позволяют снизить содержание взвеси на 30–40 %, а также задержать зоопланктон на 90–95 %, фитопланктон — на 60–90 %.

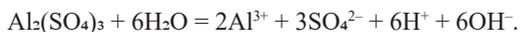
Осветление воды — это процесс удаления из нее частиц, находящихся во взвешенном и коллоидном состоянии, которые определяют повышенную

мутность и цветность воды. Взвешенные вещества различаются по плотности и размерам частиц, от которых зависит скорость их выпадения в осадок. Скорость выпадения частиц взвеси при температуре воды 10 °С носит название гидравлической постоянной частиц. Частицы размером более 0,001 мм задерживаются в результате механического отстаивания и фильтрации. Присутствие в воде коллоидов обуславливает необходимость проведения коагуляции.

Коагуляция — физико-химический процесс укрупнения, агрегации коллоидных и тонкодисперсных примесей воды вследствие их взаимного слипания под действием сил молекулярного притяжения. Используемые в технологии очистки воды коагулянты преимущественно являются солями слабых оснований и сильных кислот: сульфат алюминия, сульфат железа, хлорид железа.

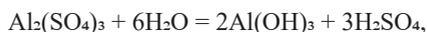
В практике водоподготовки известны два вида коагуляции — коагуляция в толще зернистой загрузки фильтра (*контактная коагуляция*) и коагуляция, происходящая в камерах хлопьеобразования (*коагуляция в свободном объеме*).

Механизм контактной коагуляции заключается в нарушении агрегативной устойчивости коллоидных примесей воды в результате устранения или снижения до очень малых значений заряда мицеллы. При добавлении к обрабатываемой воде коагулянта происходит его гидролиз с образованием трехвалентного иона алюминия:

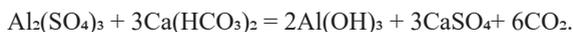


Ионы алюминия нейтрализуют заряд коллоидных частиц примесей воды и тем самым нарушают их агрегативную устойчивость. Лишенные устойчивости коллоидные частицы, проходя с потоком воды через фильтр (контактный осветлитель), адсорбируются на поверхности частиц зернистой загрузки фильтра под влиянием сил межмолекулярного взаимодействия, что приводит к осветлению и обесцвечиванию воды.

Механизм коагуляции в свободном объеме имеет иной характер. Так же как и при контактной коагуляции, введение в обрабатываемую воду сульфата алюминия обуславливает нейтрализацию заряда природных коллоидов воды и снижение их агрегативной устойчивости. Этот процесс протекает очень быстро и заканчивается при установлении равновесия между катионами коагулянта и мицеллами природных коллоидов, после чего начинается образование гидроксида алюминия как в результате гидролиза:



так и путем взаимодействия коагулянта с присутствующими в воде карбонатами и бикарбонатами:



Гидроксид алюминия имеет коллоидную структуру (золь), вследствие чего обладает развитой поверхностью, сорбирующей примеси воды, в том числе природные коллоиды, потерявшие агрегативную устойчивость.

Гидролиз коагулянта является обратимой реакцией, и на его качество влияет активная реакция воды. Понижение рН подавляет гидролиз солей слабых оснований, каким является сульфат алюминия. При повышении рН образуется отрицательно заряженный алюминат-ион, не приводящий к коагуляции. Приемлемое для гидролиза значение рН 4,3–7,6, оптимальное — 5,5–6,5.

На эффективность коагуляции влияют также температура воды (скорость коагуляции снижается при температуре ниже 5 и выше 40 °С), концентрации частиц (чем меньше концентрация частиц, тем ниже скорость коагуляции), вязкость (чем выше вязкость, тем ниже скорость коагуляции).

Для вод различного состава нужны разные дозы коагулянта. Предварительный **расчет оптимальной дозы коагулянта** осуществляется экспериментально лабораторным путем в различные периоды года с последующим уточнением в промышленных условиях.

Определение количества серноокислого алюминия, необходимого для проведения коагуляции воды, включает в себя несколько этапов.

Первый этап — определение жесткости воды. В стакан наливают 100 мл воды, добавляют 2 капли 1%-ного спиртового раствора метилропта. Наблюдается окрашивание воды в желтоватый цвет. Воду титруют по каплям 12%-ным раствором бисульфата натрия до розового окрашивания. Количество капель бисульфата натрия, пошедшее на титрование, соответствует уровню жесткости воды в градусах. При жесткости воды выше 4° приступают к выбору необходимого количества коагулянта. При жесткости воды менее 4° перед коагулированием в воду необходимо добавить щелочь (например, 2,5%-ный раствор соды).

Второй этап — определение необходимого количества коагулянта. В 3 стакана наливают по 200 мл исследуемой воды. В первый стакан добавляют раствор серноокислого алюминия, число капель которого соответствует жесткости воды согласно табл., во второй стакан — на 4 капли меньше, чем добавлено в первый стакан, в третий стакан — на 8 капель меньше, чем добавлено в первый стакан.

Определение количества серноокислого алюминия в зависимости от жесткости воды

Жесткость воды	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	14°
Число капель	8	12	16	20	24	28	32	36	40	48

Содержимое стаканов перемешивают стеклянной палочкой и наблюдают за характером хлопьеобразования в течение 10–15 мин. Выбирается стакан с наименьшим количеством коагулянта, вызывающим образование

и осаждение на дно хлопьев. Если процесс образования и осаждения хлопьев протекает одинаково во всех стаканах, то выбирают тот стакан, в который внесено наименьшее количество коагулянта. Если во всех стаканах коагуляция протекает медленно, дозу коагулянта увеличивают на 4–8 капель до четкого хлопьеобразования. Расчет необходимого количества коагулянта на 1 л воды производят исходя из количества коагулянта, внесенного в выбранный по результатам исследования стакан.

С целью ускорения процессов очистки воды, уменьшения переноса загрязнений на трубопроводы осветленной воды, баки и на следующие этапы очистки используются *флокулянты* — вещества, ускоряющие коагуляцию: агрегацию примесей и неустойчивых частиц в воде, интенсифицируя образование хлопьев, укрупняя их размеры. Расход флокулянта зависит от степени дисперсности коллоидных частиц и увеличивается с ее ростом, а на его работу влияют его дозировка, происхождение и масса молекул, заряд, количество электролитов в жидкой среде и др.

Выделяют флокулянты природного (целлюлоза, крахмал и их производные) и синтетического происхождения (полиакрилы, полиамиды и полиамины). В зависимости от происхождения флокулянты классифицируются на органические (экстракты из водорослей и из семян растений, дрожжи, вещества из целлюлозы, определенные типы смол) и неорганические (кремниевая кислота, порошкообразный активный уголь).

В зависимости от типа заряда выделяют флокулянты:

– *анионные* — положительно заряженные (акрилат, полиметакрилат натрия и др.), способные притягивать примеси, заряженные отрицательно, прочно соединять их в виде хлопьев и выпадать в осадок. Подходят для применения в щелочных и нейтральных условиях;

– *катионные* — отрицательно заряженные (сополимеры акриламида и катионного мономера). Образуют связь с положительно заряженными взвесями и применяются для процессов кислотного и водного выщелачивания. Применение флокулянтов катионного типа повышает эффективность задержания сухих веществ в осадке до 95–99 %;

– *неионогенные* — универсальные, не имеют заряда, то есть нейтральные (поливиниловый спирт, полиоксиэтилен и полиакриламид). Образуют связи с помощью водородных «мостиков»;

– *катионно-анионные* — амфотерные и ведут себя в зависимости от среды как анионные, катионные и нейтральные. К таким флокулянтам относятся белковые соединения.

Коагуляция только подготавливает воду для дальнейшей обработки (осветления и обесцвечивания) и не является самостоятельным процессом, в связи с чем в ряде случаев в схеме подготовки питьевой воды не обозначается.

Начальным этапом осветления воды, прошедшей или не прошедшей коагуляцию, является осаждение взвешенных веществ в отстойниках. В зависимости от направления движения воды в отстойнике они подразделяются на горизонтальные, вертикальные и радиальные.

Горизонтальные отстойники применяют на очистных станциях производительностью более 30 000 м³/сут и более. Они представляют собой прямоугольные резервуары, в которые вода поступает с торца и движется вдоль длинной стороны (рис. 4). Относительно равномерное движение воды по всему поперечному сечению отстойника достигается устройством дырчатых перегородок, водосливов, распределительных и сборных желобов. Глубина зоны осаждения составляет 2,5–3,5 м, а ширина секции отстойника — не более 6 м. Дно горизонтальных отстойников имеет уклон к приемку для осадка, расположенному в начале отстойника. Осадок, накапливающийся в отстойнике, периодически удаляется механизированным или гидравлическим способом. Горизонтальные отстойники обладают хорошей производительностью, однако занимают много места. Кроме того, для их эффективной работы необходим ламинарный ток жидкости, что ограничивает скорость подачи воды в них.

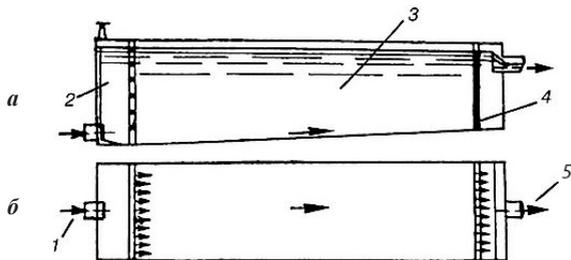


Рис. 4. Горизонтальный отстойник:

а — разрез; *б* — план сверху: 1 — трубопровод подачи исходной воды; 2 — распределительная камера с перфорированной стенкой; 3 — зона отстаивания; 4 — переливная перегородка; 5 — трубопровод отвода осветленной воды

Вертикальные отстойники, оборудуемые на малых очистных станциях производительностью до 3000 м³/сут, представляют собой круглый или квадратный резервуар с коническим или пирамидальным дном с углом наклона стенок 50–70°. Вода поступает в вертикальный отстойник по трубопроводу в центральную трубу, опускается в нижнюю часть отстойника, затем поднимается в его рабочей части и переливается через водослив в круговой лоток. Удаление осадка, накапливающегося в нижней части отстойника, осуществляется 1–2 раза в сутки путем открывания задвижки на выпускной трубе (без выключения отстойника из работы) (рис. 5). Вертикальные отстойники являются более компактными, однако имеют и меньшую производительность по сравнению с горизонтальными.

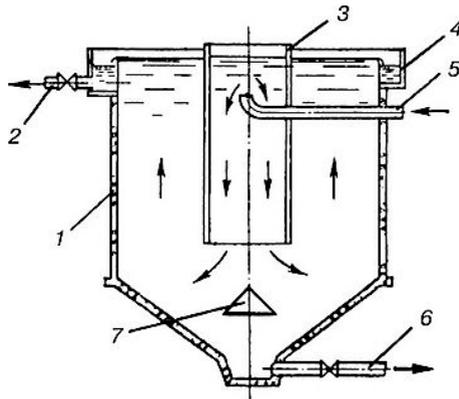


Рис. 5. Вертикальный отстойник:

1 — корпус; 2 — трубопровод отвода осветленной воды; 3 — центральный распределительный канал; 4 — кольцевой желоб сбора осветленной воды; 5 — трубопровод подачи исходной воды; 6 — трубопровод выпуска осадка; 7 — защитный (отражательный) конус

Радиальные отстойники применяются преимущественно в промышленных системах водоснабжения на очистных станциях большой производительности при высоком содержании в воде взвешенных частиц. В радиальных отстойниках вода подается в центр, а затем движется в радиальном направлении и сливается в периферийный сборный желоб, из которого отводится по трубе. Как и в отстойниках других типов осветление происходит вследствие придания воде малых скоростей движения, при которых взвешенные частицы оседают на дно. Радиальные отстойники имеют диаметр 20–60 м, глубину 3–5 м в центре и 1,5–3 м на периферии. Преимуществами радиальных отстойников являются постоянное удаление осадка механизированным способом без прекращения его работы и высокая производительность (рис. 6).

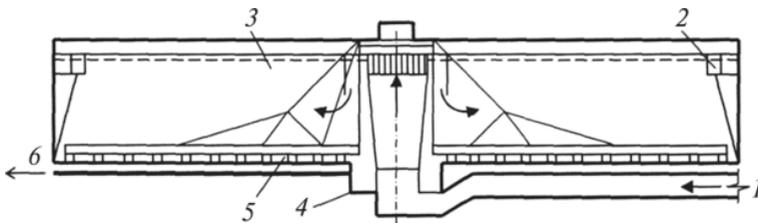


Рис. 6. Радиальный отстойник:

1 — подача сточной воды; 2 — сборный желоб; 3 — отстойная зона; 4 — иловый приямок; 5 — скребковый механизм; 6 — удаление осадка

В качестве альтернативы отстойникам для осветления воды могут использоваться *осветлители со слоем взвешенного осадка*. Находящиеся в зоне осветления частицы взвешенного осадка способствуют большему укрупнению хлопьев коагулянта. Крупные хлопья могут задержать больше взвешенных частиц, содержащихся в осветляемой воде, в результате чего повышается эффективность осветления. Преимущество осветлителей состоит в том, что они при равных объемах с отстойниками имеют более высокую производительность и требуют меньшего расхода коагулянта.

Использование отстойников или осветлителей с учетом интенсификации процессов осветления не позволяет достичь требуемой концентрации взвешенных частиц, в связи с чем на завершающей стадии осветления воды применяются фильтры.

Процесс фильтрования основан на пропускании воды через слой мелкозернистого фильтрующего материала, способного задерживать частицы мелкой взвеси. Важнейшей характеристикой интенсивности работы фильтров является скорость фильтрования, представляющая собой расход воды в м³/ч, осветляемой 1 м² фильтрующей поверхности фильтра.

Существует большое разнообразие фильтров, различающихся:

- видом фильтрующегося материала;
- скоростью фильтрования;
- механизмом задержания взвешенных частиц;
- количеством фильтрующих слоев;
- направлением фильтрующего потока.

Фильтры по виду фильтрующей среды делятся:

- на зернистые (песок, антрацит, керамзит);
- сетчатые (сетки с ячейками различных размеров);
- каркасные или намывные;
- с плавающей загрузкой (гранулы вспененного пенополистирола).

По скорости фильтрования различают:

- скорые фильтры;
- сверхскорые фильтры;
- медленные фильтры.

Фильтры также классифицируют как безнапорные (открытые) и напорные (закрытые). Скорые фильтры преимущественно открытые, сверхскорые — закрытые, медленные — открытые. Вода через безнапорные или самотечные фильтры, заполненные до определенной отметки фильтрующей загрузкой, движется под напором, создаваемым разностью отметок уровней воды в фильтре и на выходе из него. Движение воды через слой фильтрующей загрузки напорных фильтров происходит под напором, создаваемым насосами.

По характеру механизма задержания взвеси различают:

- фильтрование без образования фильтрующей пленки;
- фильтрование через фильтрующую пленку, образованную частицами взвеси, оседающими на поверхности загрузки.

Фильтрование без образования фильтрующей пленки характерно для скорых и сверхскорых фильтров.

Скорые фильтры применяют при коагулировании воды, медленные — при обработке воды без коагулирования, сверхскорые могут работать как с коагулированием воды, так и без.

На скором фильтре осветляется предварительно коагулированная вода, при этом скорость фильтрования составляет от 5,5 до 12 м/ч. В настоящее время находят применение следующие разновидности скорых фильтров: обычные (основной тип), двухпоточные (фильтры академии коммунального хозяйства) и двухслойные.

Основными элементами скорого фильтра являются фильтрующий песчаный слой, поддерживающий гравийный слой и дренаж. В качестве фильтрующего материала выступают кварцевый песок, гравий, дробленый антрацит и др. Поддерживающий слой предназначен для поддержания фильтрующего слоя и распределения промывной воды по всей площади сооружения. Поддерживающий слой состоит из гравия или щебня, укладываемых слоями разной крупности, увеличивающейся сверху вниз от 2,5 до 20–40 мм. Дренажная система необходима для равномерного распределения промывной воды по площади фильтра и равномерного сбора осветленной воды с площади фильтра. Наибольшее распространение получила дренажная система большого сопротивления, выполненная из дырчатых труб, укладываемых в толще поддерживающего слоя фильтра. Она состоит из коллектора и ответвлений с отверстиями, располагаемыми в нижней половине трубы в шахматном порядке под углом 45° к вертикальному диаметру. Для обеспечения оптимальной равномерности распределения промывной воды площадь отверстий должна составлять 0,25–0,3 % всей площади фильтра. Таким образом, скорый фильтр представляет собой загруженный фильтрующим материалом резервуар, снабженный устройствами для подачи воды, сбора профильтрованной воды и промывки загрузки (рис. 7).

Процесс фильтрования в большинстве фильтров происходит сверху вниз, а промывка (регенерация загрузки) — снизу вверх. Толщина фильтрующей загрузки зависит от крупности зерен песка и принимается в пределах 0,7–2 м.

Улавливание взвешенных веществ из воды и их закрепление на зернах фильтрующей загрузки происходит вследствие прилипания. В начальный период фильтрования накопление взвеси происходит в верхнем слое загрузки, а уловленный осадок имеет непрочную структуру. Под действием

гидродинамических сил часть взвеси отрывается и уносится в нижние слои, где вновь задерживается. В результате частицы взвеси накапливаются в значительной толще загрузки. Общее количество улавливаемых частиц взвеси велико, в связи с чем по мере их накопления растет потеря напора в фильтре, обуславливающая необходимость проведения промывки фильтра, которая проводится до 1–3 раз в сутки механизированным путем без выгрузки песка из сооружения. Фильтр промывают до тех пор, пока промывная вода, поступающая в желоба, не будет прозрачной. В среднем продолжительность промывки скорых фильтров составляет 5–8 мин.

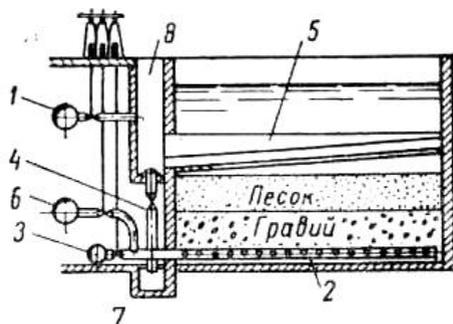


Рис. 7. Скорый песчаный фильтр:

1 — подача фильтруемой воды; 2 — распределительная трубчатая система; 3 — отвод фильтрованной воды; 4 — выпуск промывной воды; 5 — желоба для распределения фильтруемой воды и отвода промывной; 6 — подача промывной воды; 7 — отводящий канал; 8 — боковой карман

Таким образом, работа фильтра организована циклично. Время от начала работы фильтра до достижения предельной потери напора, при которой фильтр выключается на промывку, называется фильтроциклом. Для обычных скорых фильтров продолжительность фильтроцикла составляет 6–20 ч.

Двухпоточный скорый фильтр (фильтр академии коммунального хозяйства) отличается от обычных скорых фильтров наличием в толще фильтрующей загрузки (на расстоянии 500–600 мм от поверхности) еще одной дренажной системы из винипластовых труб со щелями шириной 0,4–0,5 мм. Осветление воды в таком фильтре происходит при фильтровании ее сверху вниз через мелкозернистый слой загрузки и снизу вверх через слой гравия и песка. Оба потока осветляемой воды собираются и отводятся щелевым дренажем.

Двухслойный скорый фильтр, в отличие от обычного скорого фильтра, имеет фильтрующую загрузку, состоящую из двух слоев (нижнего слоя высотой 0,6–0,7 м, состоящего из песка, и верхнего слоя высотой 0,4–0,5 м, состоящего из антрацита). Антрацит в 1,7 раза легче песка, что препятствует его

более крупным зернам смешиваться с песком при промывке. После окончания промывки песок и антрацит вновь располагаются послойно.

В двухслойных фильтрах вода фильтруется вначале через более крупные зерна антрацита, а затем через мелкие зерна песка. Грязеемкость и продолжительность фильтроцикла у них выше, чем у обычных скорых фильтров. Расчетная скорость фильтрования двухслойных фильтров составляет 8–10 м/ч.

Сверхскорый фильтр является напорным и применяется для частичного осветления воды. Скорость фильтрования в нем составляет 25–100 м/ч.

Фильтрование через фильтрующую пленку, образованную частицами взвеси, оседающими на поверхности загрузки, характерно для медленных фильтров.

Медленный фильтр работает при скорости фильтрования 0,1–0,2 м/ч. Очистка воды на медленном фильтре осуществляется без предварительного коагулирования. Для обработки значительных расходов воды медленный фильтр должен иметь очень большую площадь, поэтому в настоящее время применяется для обработки малых объемов воды.

Медленный фильтр состоит из верхнего слоя песчаной загрузки с крупностью зерен 0,3–2 мм и высотой 850 мм и нижнего слоя из гравия или щебня крупностью 2–40 мм и высотой 450 мм, уложенного на дренаж. При фильтровании воды через фильтр взвесь задерживается на поверхности загрузки и в ее верхнем слое, образуя фильтрующую пленку. Фильтрование воды через эту пленку обеспечивает не только высокую степень осветления воды, но и задержание основной массы бактерий. С течением времени происходит увеличение сопротивления фильтра. При достижении предельного сопротивления фильтра он отключается, загрязненный слой снимается и после отмычки загружается вновь.

Разновидностью скорых фильтров является *контактный осветлитель*, в котором совмещаются процессы хлопьеобразования, отстаивания и фильтрования, что позволяет значительно уменьшить объем сооружений (рис. 8). Осветление воды в контактном осветлителе происходит при движении ее снизу вверх и основано на явлении контактной коагуляции. Коагулянт вводят в обрабатываемую воду непосредственно перед ее фильтрованием через песчаную загрузку. За короткое время до начала фильтрования образуются лишь мельчайшие хлопья взвесей. Дальнейший процесс коагуляции происходит на зернах загрузки, к которым прилипают ранее образовавшиеся мельчайшие хлопья. Этот процесс, называемый контактной коагуляцией, происходит быстрее, чем обычная коагуляция в объеме, и требует меньшего количества коагулянта. Расчетная скорость фильтрования в контактном осветлителе составляет 5–6 м/ч.

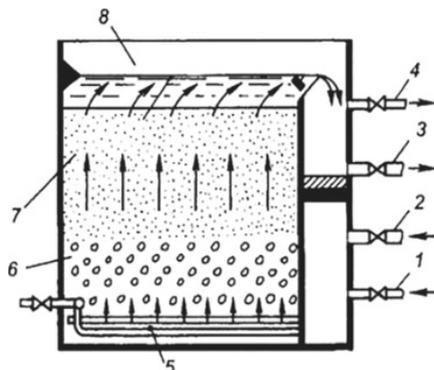


Рис. 8. Контактный осветлитель:

1, 2 — трубопроводы для подачи промывной и осветляемой воды; 3, 4 — трубопроводы для отвода промывной и осветленной воды; 5 — распределительная система из перфорированных труб; 6 — гравий; 7 — песок; 8 — желоб

Обеззараживание воды применяется для уменьшения количества содержащихся в ней микроорганизмов. Обеззараживанию подвергается вода, прошедшая коагулирование, отстаивание, фильтрацию.

Методы обеззараживания питьевой воды подразделяются:

1) на химические (реагентные):

- хлорирование (хлорирование с преаммонизацией, суперхлорирование, двойное хлорирование, прехлорирование, постхлорирование и др.);
- озонирование;
- олигодинамия;

2) физические (безреагентные):

- кипячение;
- обеззараживание ультрафиолетом;
- обеззараживание гамма-излучением;
- обеззараживание ультразвуком;
- обеззараживание импульсным электрическим разрядом.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

В практике хозяйственно-питьевого водоснабжения специальные методы подготовки питьевой воды применяются преимущественно с целью нормализации ее солевого состава, удаления привкуса, запаха, удаления радиоактивных веществ и т. д.

Все методы коррекции минерального состава воды могут быть разделены на две группы:

1) удаление из воды лишних соединений (обезжелезивание, деманганация, дезодорация, умягчение, опреснение, дезактивация, обесфторирование и др.);

2) добавление в воду различных соединений с целью улучшения ее органолептических свойств и увеличение содержания микроэлементов при их недостатке.

Характерной природной особенностью Республики Беларусь является повышенное содержание железа и марганца в воде преимущественно из подземных источников, что обусловлено гидрогеологическими особенностями водоносных горизонтов. В связи с этим наиболее часто применяемыми специальными методами улучшения качества питьевой воды в стране являются ее обезжелезивание и деманганация.

ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ

Причиной возникновения и накопления железа в поверхностных и подземных водах являются породы водоносного горизонта и породы, с которыми вода контактирует в процессе миграции, такие как песчано-гравийные и глинистые, содержащие значительное количество железистых соединений.

Выбор метода обезжелезивания зависит от форм содержания железа в воде. В воде поверхностных источников железо обычно находится в форме органических и минеральных комплексных соединений, в частности в виде гуминовокислого железа, и тонкодисперсной взвеси гидроксида железа. В речной воде, загрязненной кислотными стоками, встречается сульфат двухвалентного железа (FeSO_4). Из-за наличия в речной воде растворенного кислорода двухвалентное железо (Fe^{2+}) окисляется в трехвалентное (Fe^{3+}). При появлении в воде сероводорода (H_2S) образуется тонкодисперсная взвесь сульфида железа (FeS).

В подземных водах железо преобладает в виде бикарбоната ($\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$), но встречается также в виде сульфида (FeS), карбоната (FeCO_3), сульфата ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), а также комплексных соединений с гуматами и фульвокислотами. Анаэробная (не имеющая контакта с воздухом) прозрачная грунтовая вода может содержать соединения двухвалентного железа до нескольких миллиграммов на литр без ее помутнения при прямой подаче из источника. Однако при контакте с кислородом воздуха двухвалентное железо окисляется до трехвалентного коллоидного состояния, что придает воде характерный красно-коричневый оттенок:



Гидроксид трехвалентного железа ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) коагулирует и переходит в оксид железа ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), выпадающий в виде бурых хлопьев. По этой причине вода, полученная из скважины, изначально кажется абсолютно чистой и прозрачной, но в течение нескольких минут она мутнеет с появлением специфического оттенка. При отстаивании воды муть оседает, образуя бурый рыхлый осадок (оксид трехвалентного железа).

Технологии очистки природных вод от железа подразделяют на безреагентные, реагентные и комбинированные.

Безреагентные методы обезжелезивания включают метод аэрации и метод сухой фильтрации.

Метод аэрации подразумевает очистку воды от железа, которая производится путем ее аэрации или введением окислительных агентов с последующим фильтрованием. В результате железо переходит в формы нерастворимого гидроксида этого металла, которые затем улавливаются фильтровально-сорбционной загрузкой.

В процессе аэрации кислород окисляет железо, при этом из воды удаляется углекислота, что вызывает ускорение процесса окисления и последующего гидролиза с образованием гидроксида железа. Метод основан на способности воды, содержащей железо и растворенный кислород, при фильтровании через зернистый слой выделять железо на поверхность зерен загрузки, образуя пленку из ионов и гидроксидов двух- и трехвалентного железа. Пленка активно интенсифицирует процесс окисления и выделения соединений железа из воды. В качестве фильтровально-сорбционного материала используются кварцевый песок, алюмосиликатные сорбенты, антрацит, сульфуголь, шунгит, керамзит, пирролюзит, а также фильтрующие материалы, обработанные катализатором, ускоряющим процесс окисления Fe^{2+} в Fe^{3+} .

Когда необходимо удалить из воды железо при концентрации его в воде более 10 мг/л и увеличить значение pH более 6,8, осуществляется аэрация (насыщение кислородом) в специальных устройствах. Для этого используют вентиляторные градирни (дегазаторы) или контактные градирни с естественной вентиляцией. Исходная вода подается в верхнюю часть вентиляторной градирни, заполненной керамической насадкой. Навстречу потоку воды с помощью вентилятора направляется воздух. В процессе аэрации выделяется диоксид углерода, вода обогащается кислородом и происходит окисление железа. Затем вода подается в фильтр, где в объеме наполнителя завершается образование хлопьев гидроксида трехвалентного железа и их задержание.

Преимуществами метода простой аэрации являются:

- безопасность (в воду не добавляются сторонние химические вещества, способные причинить вред организму);
- обезжелезивание аэрацией может проводиться для больших объемов воды одновременно;

- улучшение вкусовых качеств воды вследствие обогащения ее кислородом;
- возможность полной автоматизации работы;
- безопасность для окружающей среды;
- низкая стоимость процесса.

Недостатки метода:

– трудоемкость обезжелезивания аэрацией при содержании в воде сульфата железа (FeSO_4). При гидролизе образуется кислота, понижающая рН воды до 6,8 и ниже, при этом процесс гидролиза почти прекращается. Для удаления из воды кислоты требуется ее известкование с осаждением гипса (CaSO_4);

– необходимость использования громоздкого оборудования, что затрудняет его бытовое применение.

В основе *метода сухой фильтрации* находится фильтрование воздушно-водяной эмульсии через сухую зернистую фильтрующую загрузку путем образования в ней вакуума или нагнетания большого количества воздуха с последующим его отводом. Формирующаяся в ходе турбулентного движения смеси адсорбционно-каталитическая пленка из соединений железа повышает эффективность процессов обезжелезивания. К достоинствам метода относятся высокая продолжительность фильтроцикла, низкий темп прироста потерь напора. Среди недостатков отмечаются сложность или отсутствие возможности регенерации загрузки, сложность поддержания расчетного рабочего режима.

Обезжелезивание реагентными методами:

1. *Окисление хлором и гипохлоритом натрия.* Добавление в воду сильных окислителей ускоряет процесс окисления двухвалентного железа и способствует разрушению органических соединений железа (гуматов, лигнинов и др.). После обработки воды хлором содержание железа в ней становится меньше 0,1 мг/л. Для обработки воды хлором используют хлораторы, в которых газообразный хлор абсорбируют водой. Среди основных недостатков метода — сложности в транспортировке и хранении жидкого хлора, изменение органолептических свойств воды (неприятный вкус и запах), высокая токсичность хлора. Широко используется обработка воды гипохлоритом натрия, водные растворы которого не имеют взвесей и не нуждаются в отстаивании (в отличие от хлорной извести), не увеличивают жесткость обрабатываемой воды, так как они не содержат солей кальция и магния (в отличие от хлорной извести или гипохлорита кальция).

2. *Озонирование.* Одновременно с обеззараживанием происходят процессы окисления Fe^{2+} , обесцвечивание воды, дезодорация и улучшение органолептических свойств воды. Достоинства метода обусловлены тем, что применение озона не сопровождается увеличением солевого состава очищаемой воды, озон быстро превращается в кислород без образования побочных продуктов, имеется возможность полной автоматизации процесса.

3. *Окисление на основе каталитической загрузки.* Метод применим при концентрации железа до 10 мг/л и рН равном 6,2–8,5. Окисление железа происходит на поверхности специальной фильтрующей загрузки, основой которой является диоксид марганца. В присутствии диоксида марганца железо легко окисляется и оседает. Среди плюсов окисления можно выделить относительную простоту, эффективность, экономичность, высокую производительность. Однако системы на основе каталитического окисления имеют ряд ограничений:

– каталитическое окисление неэффективно в отношении органического железа, которое образует на поверхности гранул органическую пленку;

– метод неэффективен при содержании железа в воде более 10–15 мг/л, а наличие марганца в воде ухудшает эффективность обезжелезивания.

ДЕМАНГАНАЦИЯ

Деманганация воды — удаление из воды ионов марганца. Деманганация осуществляется практически теми же методами, что и обезжелезивание.

Методы деманганации классифицируются на безреагентные и реагентные. Основной безреагентный метод удаления марганца из воды — аэрация с последующим отстаиванием и фильтрованием на скорых фильтрах с сорбцией марганца на гидроксиде железа. Реагентным методом деманганации воды является окисление с использованием перманганата калия, хлора и его производных, озона, кислорода:

1. *Обработка перманганатом калия.* Наиболее эффективным и технологически простым реагентным методом удаления марганца из вод поверхностных и подземных источников питьевого водоснабжения в настоящее время является обработка их перманганатом калия. Метод основан на способности перманганата калия окислять содержащийся в воде марганец с образованием малорастворимого оксида марганца. При обработке воды перманганатом калия снижение привкусов и запахов происходит также вследствие частичной сорбции органических соединений образующимся мелкодисперсным хлопьевидным осадком оксида марганца.

2. *Использование катализаторов окисления марганца.* Установлено, что предварительно осажденные на поверхности зерен фильтрующей загрузки оксиды марганца оказывают каталитическое влияние на процесс окисления иона марганца растворенным в воде кислородом. При фильтровании аэрированной и подщелоченной воды, содержащей марганец, через песчаную загрузку по прошествии некоторого времени на поверхности зерен песка образуется слой, состоящий из гидроксида марганца, который адсорбирует положительно заряженные ионы марганца. Гидролизуясь, эти ионы взаимодействуют с осадком гидроксида марганца (IV), образуя хорошо окисляемый оксид Mn_2O_3 . Таким

образом, в результате снова образуется гидроксид марганца (IV), который опять участвует в процессе окисления в качестве катализатора. Использование этого свойства оксидов марганца позволяет применить в практике кондиционирования воды метод ее фильтрования через песок, зерна которого предварительно покрыты пленкой оксида марганца (так называемый «черный песок»). Для этого обычный кварцевый песок крупностью 0,5–1,2 мм обрабатывают последовательно 0,5%-ным раствором хлорида марганца и перманганата калия. Недостатками метода являются:

- постепенное измельчение частиц, образующих покрытие зерен загрузки, при работе фильтра, и попадание их в фильтрат;
- большой расход перманганата калия.

3. *Деманганация воды фильтрованием через модифицированную загрузку.* Метод применяется с целью увеличения ресурса фильтрующей загрузки, а также снижения расхода перманганата калия. Модифицированная загрузка изготавливается последовательным пропусканием снизу вверх через кварцевый песок растворов перманганата калия и железного купороса. Для закрепления на зернах загрузки пленки из гидроксида железа и оксида марганца ее затем обрабатывают сульфитом натрия или тринатрийфосфатом.

ДЕГАЗАЦИЯ

Дегазация воды представляет собой процесс устранения растворенных в воде газов (диоксида углерода, метана) и удаления газов, образовавшихся в результате предыдущих этапов ее обработки (кислород и сероводород). Данные газы подлежат удалению из воды по ряду причин:

- углекислота и сероводород способствуют появлению коррозии металлов;
- диоксид углерода приводит к образованию коррозии бетона;
- метан при контакте с воздухом способен образовывать взрывоопасную смесь.

Выделяют несколько методов дегазации:

- физический (изменение температуры воды и парциального давления удаляемых газов);
- химический (связывание частиц при помощи реагентов);
- биохимический (основан на окислительной способности микроорганизмов);
- сорбционно-обменный (применение различных способов фильтрования).

Удаление кислорода из воды физическим методом заключается в ее кипячении. Для данной процедуры используют термические или вакуумные дегазаторы. Термические дегазаторы повышают температуру воды, доводя ее до кипения, а вакуумные — снижают давление воды, тем самым вызывая ее кипение без повышения температуры.

Химический метод удаления кислорода (деактивация кислорода) заключается в добавлении гидразин-гидрата, который вызывает химическое связывание удаляемых газов. Достоинствами применения данного метода являются отсутствие вредных летучих продуктов разложения и уменьшение количества сухого остатка. Недостатком же метода является его высокая стоимость.

Сорбционно-обменный метод основывается на процессе фильтрации через фильтры, наполненные стальной стружкой, а также на процессе фильтрования воды через электронно-обменные и электронно-ионообменные смолы. Для этого применяется ионообменник, заряженный палладием, с использованием водорода в качестве катализатора.

Удаление сероводородных соединений из воды возможно лишь при предварительном подкислении исходной среды или в случае, когда удаление этого газа объединяется с процессом дегазации углекислоты. Процесс дегазации в данном случае осуществляется преимущественно физическим и биохимическим методами, которые заключаются в аэрировании с окислением сероводорода серобактериями, и обязательным последующим фильтрованием.

Еще один способ очистки от примесей сероводорода реализуется в вакуумно-эжекционном аппарате. В вакуумной камере прибора при значительных скоростях движения дегазируемой воды происходит ее моментальное вскипание с десорбцией газа.

Химический метод удаления сероводорода (деактивация сероводорода) заключается в обработке большими дозами хлора, поскольку при этом процессе практически весь сероводород окисляется до серной кислоты.

Удаление диоксида углерода осуществляется физическим методом путем аэрации (насыщения жидкости кислородом) с использованием пленочного дегазатора, загруженного кольцами Рашига, выполненными из пластмассы или керамики, а также барботажных дегазаторов (на установках производительностью до 20 м³/ч).

Химический метод удаления диоксида углерода (деактивация диоксида углерода) производится только реagentным способом с использованием соды, едкого натра, извести, мраморной крошки или мела.

Удаление метана осуществляется преимущественно физическим или биохимическим методами.

Физический метод удаления метана представлен вакуумной дегазацией с принудительным насыщением обрабатываемой воды диоксидом углерода или воздухом с помощью вакуумного ионообменника.

Биохимический метод удаления метана основан на использовании присутствующих в воде бактерий, потребляющих углеводороды, к которым относится метан. Однако данный способ не гарантирует глубокой очистки воды от газа и требует значительных финансовых затрат.

ДЕЗОДОРАЦИЯ

Под дезодорацией воды понимается устранение нежелательных запахов и привкусов, ухудшающих ее органолептические качества. В большинстве случаев на запах воды влияют растворенные в ней вещества или жизнедеятельность обитающих в ней микроорганизмов.

Основные методы дезодорации воды можно разделить на три группы: физические, химические и биологические.

Основной физический метод дезодорации воды — аэрация. Аэрация — процесс насыщения очищаемой жидкости кислородом в аэраторах (барботажные, разбрызгивающие, каскадные, смешанные) с последующим окислением растворенного в ней железа и удалением таких газов, как сероводород и диоксид углерода.

Химический метод дезодорации воды основан на применении окислителей (озон, хлор, пероксид водорода, перманганат калия).

Для доочистки воды, прошедшей дезодорацию окислением, а также как самостоятельный метод очистки широко применяется сорбция. В отличие от применения окислителей, данный способ основан не на трансформации веществ, а на извлечении их из жидкости. Сорбционный метод особенно эффективен для удаления затхлого запаха воды, а также запаха хлора, появляющегося после обеззараживания воды. Могут применяться такие сорбенты, как активированный уголь, волокнистые углеродные материалы из полимерных волокон, а также глинистые породы и цеолиты.

Активированный уголь может применяться вне фильтров, путем прямого введения угольного порошка в воду (углевание), однако такой способ достаточно неудобен и не так эффективен, как использование угля в виде гранул в качестве фильтрующей загрузки. Недостатком же фильтров с такой загрузкой является необходимость его периодической регенерации, что сопряжено с высокими затратами и занимает достаточно продолжительное время. Однако установлено, что межрегенерационный период работы угольной загрузки может быть значительно увеличен благодаря обработке очищаемой воды окислителем. В таком случае происходит эффект окислительно-сорбционного взаимодействия, при котором уголь выступает в качестве катализатора окислительных процессов, а продукты окисления лучше сорбируются.

УМЯГЧЕНИЕ

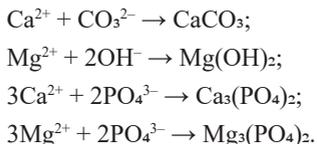
Под умягчением воды понимается снижение концентрации солей кальция и магния, обуславливающих жесткость воды.

Существуют следующие методы умягчения воды:

- реагентный (химический);
- катионитовый;

- термический;
- комбинированный (термохимический, реагентно-катионитовый).

Реагентный метод умягчения воды основан на обработке исходной воды такими реагентами, как $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Na_2CO_3 , NaOH , Na_3PO_4 , анионы которых образуют с катионами Ca^{2+} и Mg^{2+} труднорастворимые соединения (карбонат кальция, гидроксид магния, фосфат кальция и магния):



Отделение труднорастворимых соединений от умягченной воды осуществляется в виде осадка сначала в осветлителях, а затем в осветлительных фильтрах.

Катионитовый метод умягчения воды основан на способности некоторых нерастворимых в воде органических или неорганических веществ, называемых катионитами, обменивать содержащиеся в них активные группы катионов (натрия, водорода и др.) на катионы кальция или магния воды, обуславливающие ее жесткость.

Умягчаемую воду фильтруют через слой катионита, при этом катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} из воды переходят в катионит, а в воду переходят катионы Na^+ и H^+ , что приводит к умягчению воды.

Термический метод умягчения воды заключается в том, что вода при нагревании теряет растворенную в ней равновесную свободную углекислоту, что, в свою очередь, приводит к распаду бикарбонатов с выделением малорастворимых осадков CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

В зависимости от свойств и требуемой степени умягчения воды в ряде случаев целесообразно применение комбинаций рассмотренных методов.

ОПРЕСНЕНИЕ

Опреснение представляет собой процесс удаления из воды растворенных в ней солей.

Наиболее распространенными методами опреснения воды являются дистилляция, ионный обмен, электродиализ и гиперфильтрация.

Метод дистилляции основан на выпаривании воды с последующей конденсацией. Дистилляция экономически целесообразна при содержании солей в исходной воде более 8 мг/л. Недостатками дистилляции являются низкая минерализация и неблагоприятные органолептические свойства воды вследствие поступления в нее продуктов термического разложения органических веществ. Привкусы и запахи в таком случае устраняют путем фильтрования

дистиллята через активированный уголь, а для оптимизации минерального состава дистиллят, предварительно насыщенный углекислотой, пропускают через мраморную крошку или доломит, вследствие чего вода насыщается солями кальция.

При опреснении воды *ионообменным методом* ее последовательно пропускают через Н-катионитовые и ОН-анионитовые фильтры. Ионообменный метод рентабелен для солоноватых вод (до 3 г/л) и на установках невысокой производительности.

Метод электродиализа основан на движении положительно заряженных катионов растворенных в опресняемой воде солей к погруженному катоду, а отрицательно заряженных — к аноду при пропускании постоянного тока через воду.

Гиперфильтрация представляет собой процесс фильтрования воды через полупроницаемые мембраны, задерживающие гидратированные ионы солей и молекулы органических соединений.

ФТОРИРОВАНИЕ И ОБЕСФТОРИРОВАНИЕ

Фторирование воды хозяйственно-питьевого назначения показано в эндемичных по гипофторозу местностях (биогеохимических провинциях) с низким содержанием фтора в окружающей среде, а также при высокой пораженности коренного населения кариесом зубов при наличии проявлений гипофтороза.

Содержание фтора в подземных водах, которые используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения (в колодцах, артезианских скважинах), значительно варьируется в зависимости от места расположения и глубины источника.

Для фторирования питьевой воды используются фторсодержащие соединения, в частности кремнефтористый натрий (Na_2SiF_6), кремнефтористая кислота (H_2SiF_6), натрия фторид (NaF), кремнефтористый аммоний ($(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$), кальция фторид (CaF_2), фтористоводородная кислота (HF), добавляемые в воду дозирующими устройствами.

К реагентам для фторирования воды предъявляются следующие требования:

- высокое противокариозное действие при меньшей потенциальной токсичности;
- отсутствие ядовитых примесей (мышьяк, соли тяжелых металлов);
- высокая растворимость в воде;
- безопасность для персонала (малое пыление).

Фторирование оптимальнее проводить после фильтров, перед резервуарами чистой воды. Контроль за содержанием фтор-иона должен быть автоматизирован.

В Республике Беларусь фторирование питьевой воды централизованного водоснабжения не проводится, что обусловлено экономическими причинами: вода из системы водопровода преимущественно расходуется на хозяйственно-бытовые и технические нужды и лишь незначительная ее доля используется для питья. В стране осуществляется реализация среди населения бутилированной воды с оптимальным содержанием фторидов, а также фторированной пищевой соли.

И хотя фтор является значимым с гигиенической точки зрения химическим элементом, его предельно допустимая концентрация не должна превышать $1,5 \text{ мг/дм}^3$. Чтобы убрать излишки фтора, производится обесфторивание воды.

Более высокое содержание фтора в воде может быть следствием географического местонахождения источника водоснабжения либо загрязнения воды техногенного или антропогенного происхождения.

Для обесфторивания воды используются реагентные (методы осаждения) и фильтрационные методы. Реагентные методы основаны на сорбции фтора свежесажденными гидроокисями алюминия или магния. Этот метод рекомендуется при обработке поверхностных вод, когда кроме дефторирования воды требуется еще ее осветление и обесцвечивание. Более практичным и высокоэффективным является фильтрование через активированную окись алюминия (Al_2O_3), обладающую по отношению к фтору сорбционной способностью.

ДЕЗАКТИВАЦИЯ

Дезактивация — удаление из воды радиоактивных веществ.

Методы дезактивации воды подразделяются на физические, химические, физико-химические.

К физическим методам относятся отстаивание (применяется преимущественно для воды, зараженной веществами с коротким периодом полураспада), перегонка, фильтрование. Химические же методы основаны на химических реакциях с кислотами или металлами, при которых частицы связываются в комплексные соединения.

Наиболее эффективным способом дезактивации является физико-химический метод с применением ионообменных смол (катионо- и анионообменные, амфотерные, селективные, окислительно-восстановительные). Данные синтетические полимерные соединения содержат функциональные группы кислотной или основной природы, способные к реакциям ионного обмена.

Существует ряд параметров, по которым различают ионообменные смолы:

1) по заряду иона:

– катиониты — смолы с положительно заряженными ионами (Na^+ , H^+ и др.). При этом они подразделяются на сильнокислотные (в качестве

функциональной группы содержат сульфо- или фосфорнокислые группы) и слабокислые (содержат карбоксильные или фенольные группы);

– аниониты — смолы с отрицательно заряженными ионами (Cl^- , OH^- и др.). Они, в свою очередь, делятся на сильноосновные (содержат четвертичные аммониевые основания) и слабоосновные (содержат различные аминогруппы);

2) по структуре:

– гелевые (размер пор составляет 1 нм);

– пористые (размер пор составляет 100 нм);

– с промежуточной структурой (среднее между гелевой и пористой структурами).

Гелевые смолы обладают большей обменной емкостью по сравнению с пористыми. Пористые смолы, в свою очередь, осмотически стабильнее, химически и термически устойчивее.

Еще одним современным способом дезактивации воды является применение цеолитов — твердозернистых материалов, которые имеют пористую структуру и большую удельную поглощающую поверхность. Впервые цеолиты были применены в 1959 г. Л. Аймсом для удаления цезия и стронция из воды атомного реактора.

САМОКОНТРОЛЬ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

Задача 1

Рассчитайте массу сухого коагулянта для обработки 800 м³ воды, если известно, что пробная коагуляция наиболее эффективно протекала в сосуде объемом 0,5 л, куда было добавлено 8 мл 2%-ного сернокислого алюминия.

Задача 2

Определите количество хлорного железа для обработки 1500 м³ воды, если пробная коагуляция лучше всего проходит в 1 л воды при добавлении 5 мл 5%-ного раствора хлорного железа.

Задача 3

На водопроводной станции процесс коагуляции воды производится сернокислым алюминием в дозе 40 мг/л с последующей флокуляцией воды полиакриламидом в дозе 1,5 мг/л. Показатели качества воды после коагуляции представлены в табл.

Показатели качества воды

Показатели	Результаты исследований	
	до коагуляции	после коагуляции
Цветность по шкале, градусы	40	15
Мутность, мг/дм ³	3	1,5
Водородный показатель, единицы рН	7,6	6,8
Остаточный алюминий, мг/дм ³	–	0,5
Остаточный полиакриламид, мг/дм ³	–	1,2

Задание: оцените эффективность процесса коагуляции на основании данных лабораторного контроля качества воды.

Задача 4

На водопроводной станции процесс коагуляции воды производится сернокислым алюминием в дозе 20 мг/л с последующей флокуляцией воды полиакриламидом в дозе 0,5 мг/л. Показатели качества воды после коагуляции представлены в табл.

Показатели качества воды

Показатели	Результаты исследований	
	до коагуляции	после коагуляции
Цветность по шкале, градусы	50	35
Мутность, мг/дм ³	5	2,5
Водородный показатель, единицы рН	8,5	7
Остаточный алюминий, мг/дм ³	–	0,7
Остаточный полиакриламид, мг/дм ³	–	1,5

Задание: оцените эффективность процесса коагуляции на основании данных лабораторного контроля качества воды.

Задача 5

На водопроводной станции процесс коагуляции воды производится сернокислым алюминием в дозе 10 мг/л с последующей флокуляцией воды полиакриламидом в дозе 0,5 мг/л. Показатели качества воды после коагуляции представлены в табл.

Показатели качества воды

Показатели	Результаты исследований	
	до коагуляции	после коагуляции
Цветность по шкале, градусы	20	15
Мутность, мг/дм ³	3	1,8
Водородный показатель, единицы рН	7,2	6,4
Остаточный алюминий, мг/дм ³	–	0,3
Остаточный полиакриламид, мг/дм ³	–	2,2

Задание: оцените эффективность процесса коагуляции на основании данных лабораторного контроля качества воды.

Задача 6

На водопроводной станции процесс коагуляции воды производится сернокислым алюминием в дозе 30 мг/л с последующей флокуляцией воды полиакриламидом в дозе 1,5 мг/л. Показатели качества воды после коагуляции представлены в табл.

Показатели качества воды

Показатели	Результаты исследований	
	до коагуляции	после коагуляции
Цветность по шкале, градусы	50	20
Мутность, мг/дм ³	5	1,6
Водородный показатель, единицы рН	7,6	6,8
Остаточный алюминий, мг/дм ³	–	0,1
Остаточный полиакриламид, мг/дм ³	–	0,5

Задание: оцените эффективность процесса коагуляции на основании данных лабораторного контроля качества воды.

Задача 7

Для снабжения поселковой больницы водой предполагается ее подключение к существующему водопроводу. Вода забирается из озера и на очистных сооружениях подвергается коагуляции, отстаиванию, фильтрации и хлорированию. Результаты анализа отобранной пробы воды представлены в табл.

Показатели качества воды

Показатель	Значение
Запах, баллы	1
Привкус, баллы	Отсутствует
Мутность, мг/дм ³	1,5
Жесткость общая, градус жесткости	6,9
Сухой остаток, мг/дм ³	645
Медь, мг/дм ³	0,6
Барий, мг/дм ³	0,004
Алюминий, мг/дм ³	0,2
Нитраты, мг/дм ³	38
Сульфаты, мг/дм ³	470
Хлор остаточный свободный, мг/дм ³	0,2
Хлор остаточный связанный, мг/дм ³	0,6
Общее микробное число, число КОЕ в 1 см ³	80

Задание:

1. Укажите вид водоснабжения.
2. Оцените качество воды и эффективность методов обработки воды.
3. Оформите санитарно-гигиеническое заключение о пригодности воды для хозяйственно-питьевых целей.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Мотивационная характеристика темы	3
Введение	4
Основные методы подготовки питьевой воды	6
Специальные методы улучшения качества питьевой воды	16
Обезжелезивание	17
Деманганация	20
Дегазация	21
Дезодорация	23
Умягчение	23
Опреснение	24
Фторирование и обесфторирование	25
Дезактивация	26
Самоконтроль усвоения темы	27

Учебное издание

Арабей Сергей Витальевич
Дзержинская Надежда Андреевна

МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск И. П. Семёнов
Старший корректор А. В. Царь
Компьютерная вёрстка М. Г. Миранович

Подписано в печать 24.03.25. Формат 60×84/16. Бумага писчая «Марафон Бизнес».
Ризография. Гарнитура «Times».
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,50. Тираж 58 экз. Заказ 189.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный медицинский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/187 от 24.11.2023.
Ул. Ленинградская, 6, 220006, Минск.