

# Обезжелезивание воды

# Формы железа в поверхностных и артезианских водах

Поверхностные воды служат основным источником водозабор. Содержание железа в таких источниках обычно находится в пределах 0,3 мг/л. Как правило, железо поверхностных вод встречается в составе комплексов с солями гуминовых кислот (гуматы).

Гуминовые комплексы железа относят растворимому органическому железу. К органическому железу относят еще и коллоидное железо, а также бактериальное железо, которое получается в процессе жизнедеятельности железобактерий, окисляющих  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$  состояния.

Оно сохраняется в желеобразной оболочке вокруг бактерий, создающих радужные пленки на поверхности водоемов или слизистые сгустки и пленки в системах водоснабжения.

- Скважинные инфильтрационные воды забираются с небольшой глубины и по своему составу близки к составу поверхностных вод с невысоким, но вполне вероятно, превышающим ПДК содержанием железа  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ . Они обогащены кислородом и поэтому железо присутствует в трехвалентной форме  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ .
- **Артезианские воды**, забираемые с большой глубины (так, что между ними и инфильтрационными водами находится хотя бы один водонепроницаемый слой, наиболее пригодны для использования в качестве питьевой воды. Они лучше других вод очищены природными фильтрами от антропогенных загрязнений и защищены от проникновения болезнетворных микроорганизмов. В то же время именно в таких глубинных скважинных водах концентрация железа бывает наиболее высокой.

## Методы обезжелезивания воды

- Для обезжелезивания поверхностных вод используются только реагентные методы с последующей фильтрацией.

Обезжелезивание подземных вод осуществляют фильтрованием в сочетании с одним из способов предварительной обработки воды:

- - упрощенная аэрация;
- аэрация на специальных устройствах;
- коагуляция и осветление;
- введение таких реагентов-окислителей, как хлор, гипохлорит натрия или кальция, озон, перманганат калия.

При мотивированном обосновании применяют катионирование, диализ, флотацию, электрокоагуляцию и другие методы.

- Для удаления из воды железа, содержащегося в виде коллоида  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  или в виде гуматов железа, используют коагулирование сульфатом алюминия или оксихлоридом алюминия, или железным купоросом с добавлением хлора или гипохлорита натрия. В качестве наполнителей для фильтров в основном используют алюмосиликатный сорбент, песок, антрацит, сульфоуголь, керамзит, пиролюзит, а также фильтрующие материалы, обработанные катализатором, ускоряющим процесс окисления двухвалентного железа в трехвалентное.

## Упрощенная аэрация

- В процессе аэрации кислород воздуха окисляет двухвалентное железо, при этом из воды удаляется углекислота, что ускоряет процесс окисления и последующий гидролиз с образованием гидроксида железа. Метод основан на способности воды, содержащей двухвалентное железо и растворенный кислород, при фильтровании через зернистый слой выделять железо на поверхности зерен загрузки, образуя каталитическую пленку из ионов и гидроксидов двух- и трехвалентного железа. Пленка активно интенсифицирует процесс окисления и выделения соединений железа из воды.

## Коагулирование, осветление, флокулирование

- Из поверхностных вод, как правило, необходимо удалить взвеси и коллоидно-дисперсные вещества, включающие соединения железа. Освобождение воды от взвеси и коллоидных веществ возможно осуществить только путем ввода специальных реагентов-коагулянтов. Коагулянт образует в воде хлопья, которые адсорбируют на своей поверхности коллоиды и выделяются в виде осадка

# Введение реагентов-окислителей

- Обработка воды хлором и его производными. Реагенты-окислители, в первую очередь хлор, с целью обеззараживания, а также удаления железа, используются в России с начала XX в. После обработки разных вод этим методом содержание железа во всех случаях становится меньше 0,1 мг/л, причем метод эффективен, когда другие приемы не работают. Под действием хлора происходит разрушение гуматов и других органических соединений железа и переход их в форму неорганических солей трехвалентного железа, которые легко гидролизуются. В результате гидролиза выпадает осадок или гидроксида железа.



## Обработка воды перманганатом калия

- Метод окисления двухвалентного железа используется путем введения в исходную воду перед фильтрами раствора перманганата калия  $\text{KMnO}_4$  - марганцовки. Последний может также вводиться в сочетании с гипохлоритом натрия с целью обработки сложных вод и экономии перманганата калия – достаточно дорогостоящего окислителя.

# Обработка воды озоном

- Один из перспективных методов окисления железа – озонирование. Озон ( $O_3$ ) – один из самых сильных окислителей. Одновременно с обеззараживанием идут процессы окисления двухвалентных железа и марганца, обесцвечивание воды, а также ее дезодорация и улучшение органолептических свойств.

# Фильтрация с применением каталитических загрузок

- Фильтрация с применением каталитических загрузок – наиболее распространенный метод удаления железа и марганца, применяемый в высокопроизводительных компактных системах. Это обусловлено как коммерческими аспектами, так и высокой технологичностью процессов. Каталитические наполнители – природные материалы, содержащие диоксид марганца :
  - - дробленый пиролюзит, «черный песок», сульфуголь и МЖФ (отечественные загрузки);
  - Manganese Green Sand (MGS), Birm, MTM (зарубежные наполнители);

- Все системы на основе каталитического окисления с помощью диоксида марганца имеют ряд ограничений:
  - неэффективны в отношении органического железа;
  - более того, при наличии в воде любой из форм органического железа, на поверхности гранул фильтрующего материала со временем образуется органическая пленка, изолирующая катализатор от воды;
  - не могут справиться со случаями, когда содержание железа в воде превышает 10–15 мг/л;
  - присутствие в воде марганца еще более ухудшает эффективность обезжелезивания.

## Обезжелезивание воды катионированием

- При фильтровании воды через слой ионита железо – согласно лиотропному ряду – будет задерживаться и поглощаться ионитом раньше и лучше кальция и магния. И обменная емкость ионита по кальцию и магнию будет быстро уменьшаться. Поэтому удаление из воды железа методом ионного обмена (катионирование) допускается, когда одновременно с обезжелезиванием требуется умягчение воды. Однако в этом случае возможно только извлечь железо в растворенной двухвалентной форме.

- При наличии в воде кислорода ион  $\text{Fe}^{2+}$  окисляется, образуя гидроксид железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , плохо растворим в воде и, осаждаясь на зернах ионита, «закрывает» его поры. Ресурс работы ионообменного материала будет значительно снижен. Поэтому производители ионитов ограничивают содержание железа (Fe) в исходной воде значениями 0,05–0,3 мг/л. Следовательно, применение этого метода должно быть экономически обосновано.

# Обезжелезивание мембранными методами

- Микрофльтрационные мембраны пригодны для удаления коллоидных частиц гидроксида железа (III); ультрафльтрационные и нанофльтрационные мембраны способны удалять кроме этого коллоидное и бактериальное органическое железо, а метод обратного осмоса позволяет удалять до 98% растворённого в воде двухвалентного железа. Однако мембранные методы дорогостоящи.
- Применение мембранных методов оправдано тем, где просто необходима высокая степень очистки воды, в том числе от железа, например, в медицинской и пищевой промышленности.

## Биологическое обезжелезивание

- Этот метод подразумевает использование железобактерий, окисляющих двухвалентное растворённое железо до трёхвалентного, в целях очистки воды, с последующим удалением коллоидов и бактериальных плёнок в отстойниках и на фильтрах. В некоторых случаях это оказывается единственным приемлемым способом снизить содержание железа в воде. Прежде всего – когда концентрации железа в воде особенно велики, свыше 40 мг/л. Также применяют биологическое обезжелезивание, если в воде высоко содержание сероводорода и углекислоты.



- Такая вода с очень низким показателем рН не может быть очищена от избыточного железа методом упрощённой аэрации. Её подвергают фильтрации через колонии бактерий на медленных фильтрах с песчано-гравийной загрузкой. Затем подвергают сорбционной очистке для задержания продуктов жизнедеятельности бактерий и ультрафиолетовому обеззараживанию.