

ОЧИСТКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЖЕЛЕЗА И ФТОРА ПРИ ИХ ОДНОВРЕМЕННОМ ПРИСУТСТВИИ

Нохоев С.А.,

научный руководитель канд. техн. наук Приймак Л.В.

Сибирский федеральный университет

В некоторых районах Красноярского края (Балахтинский, Боготольский, Енисейский, Пировский, Рыбинский, Сухобузимский, Емельяновский) в воде подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения содержатся одновременно ионы фтора и железа.

Присутствие фтора и железа в подземных водах обусловлено повсеместным распространением растворимых фтор- и железосодержащих соединений в породах и почвах. Фтор и железо являются довольно распространенными элементами. Содержание фтора составляет около 0,3 г/кг земной коры, в горных породах он присутствует в виде фторидов в ряде минералов, среди которых наиболее часто встречающимися являются плавленый шпат, криолит и фторапатит. Железо является четвертым из наиболее распространенных по массе элементов в земной коре, в воде может быть в двух- и трехвалентном состоянии.

Существующие нормативы качества воды, устанавливающие требования качества хозяйственно-питьевой воды централизованных и нецентрализованных источников водоснабжения, определяют, что концентрация в воде ионов фтора должна быть 0,7-1,5 мг/дм³ (для Красноярского края, относящегося к II климатическому району, верхнее значение этого диапазона не должно превышать 1,2 мг/дм³), а содержание железа – 0,3 мг/дм³.

Медицинские исследования, проведенные ВОЗ, показали, что употребление населением воды с концентрацией фтора более 1,5 мг/л вызывает флюороз зубов, который проявляется в потемнении и разрушении эмали, а также флюороз костей.

Повышенное содержание железа в воде придает ей ржавый цвет и металлический привкус, что делает воду непригодной к употреблению. Постоянное использование воды с повышенным содержанием железа (более 0,4-1 мг/кг массы тела в день) может привести к развитию гемохроматоза, т.е. отложению соединений железа в органах и тканях.

Одновременное удаление фтора и железа из подземных вод – сложный и малоизученный технологический процесс.

Проблемам обезфторивания и обезжелезивания подземной воды посвящены работы видных российских и зарубежных ученых И. Э. Апельцина, Г. Д. Габовича, Е. Ф. Золотовой, В. А. Клячко, А. П. Левченко, Ю. Ю. Лурье, Г. И. Николадзе, Б. Н. Фрога.

Решению данной проблемы посвящены исследования, проводимые в 70-80 годах СоюзводоканалНИИпроектом, МИСИ им. В.В. Куйбышева и рядом других проектных и научно-исследовательских организаций.

В результате проведенных исследований были рекомендованы следующие технологические схемы совместного удаления из подземных вод фтора и железа:

- предварительное хлорирование, коагулирование алюмосодержащим реагентом, обработка в слое взвешенного осадка в осветлителе, затем аэрация и фильтрование через каркасно-засыпной фильтр КЗФ;

- предварительное хлорирование, электрокоагулирование с использованием алюминиевых электродов, обработка в слое взвешенного осадка в камере зашламлённого типа, осветление в тонкослойном отстойнике и фильтрование на фильтре большой

грязеёмкости (напорная схема, рекомендуемая при производительности до 1 тыс. м³/сут);

- ионный обмен с применением сильноосновных катионитов и анионитов (напорная схема, рекомендуемая при производительности до 5 тыс. м³/сут).

Первые две рекомендуемые технологические схемы, имеющие две ступени обработки, основаны на сорбции алюмофторидных комплексов оксигидратом алюминия и окислении железа (Fe²⁺), с последующим задержанием образующихся оксидов железа на зернистой загрузке. В данных схемах аэрация может быть заменена вводом подщелачивающего реагента для создания рН = 6,8-7,2. Скорость восходящего движения обрабатываемой воды в осветлителе принимается 1,8-2,0 мм/с. Продолжительность пребывания воды в вихревой камере хлопьеобразования около 5 мин. Скорость фильтрования на каркасно-засыпном фильтре 10-15 м/ч. Для аэрации также можно использовать и вакуумно-эжекционные аппараты.

Технологическая схема на основе электрокоагуляционной обработки реализовывалась на установках заводского исполнения типа «Струя». Скорые фильтры с керамзитовой или песчаной загрузкой крупностью 0,8-2,0 мм, $d_{эжв} = 1-1,2$ мм, высотой слоя 1,8 мм. Расчётная скорость фильтрования 8-10 м/ч.

Технологическая схема на основе ионообменных процессов включает ионообменные фильтры. В качестве ионитов использовались катионит КУ-2 и анионит ЭДЭ-10П (амберлайт JRA-400). Перед ионообменными фильтрами предусматривается фильтр с активированным углём для извлечения органических примесей. В конце технологической схемы буферный натрий-катионитовый фильтр удерживает возможные проскоки предыдущих ступеней обработки и поддерживает постоянное значение рН воды. Регенерация активированного угля и анионита проводится 2% раствором гидроксидом натрия, катионита – 2% раствором соляной кислоты.

В 1992 г., в Московском инженерно-строительном институте им. В.В.Куйбышева, Николадзе Г.И., Викулиной В.Б. и Канделаки Г.Н. был предложен способ удаления железа и фтора из подземных вод, который заключался в том, что после модификации загрузки коагулянтом ее дополнительно обрабатывали водным раствором полифосфатов или замещенных ортофосфатов натрия. При пропуске раствора коагулянта через загрузку происходит образование молекулярного слоя вокруг зерен загрузки. Затем через такую загрузку пропускают растворы полифосфатов или ортофосфатов натрия. При этом происходит образование комплексных соединений, так как фосфаты при определенных условиях образуют полимерные соединения, а в сочетании с коагулянтами происходит комплексообразование и эти комплексы способны задерживать ионы железа и фтора.

Способ осуществлялся следующим образом. Через песчаную кварцевую загрузку снизу вверх подается водный раствор алюмосодержащего коагулянта (например сернокислого алюминия) концентрацией от 1 до 3% затем после такой обработки подается раствор полифосфатов, например одно-, двух- или трехзамещенных ортофосфатов, содержащих соответственно $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} анионы, концентрацией от 1 до 3%. При этом вокруг зерен загрузки образуется слой комплексного соединения. После подготовки загрузки к работе подземная вода, содержащая ионы железа и фтора, фильтруется без предварительного окисления.

В результате процесса адсорбции и ионного обмена, которые происходят в слое образовавшегося комплексного соединения, происходит одновременное удаление ионов железа и фтора из подземных вод. Предлагаемый способ удаления железа и фтора из подземных вод осуществляется в одном сооружении, с извлечением из воды двух элементов одновременно в одну стадию, при этом исключается строительство дополнительных очистных сооружений.

Предлагаемый способ удаления железа и фтора из подземных вод был применён на подземной воде с содержанием железа 6,5 мг/л и фтора – 4,5 мг/л. Фильтрация осуществлялась через зернистую загрузку диаметром 0,8-1,4 мм. Диаметр фильтровальной колонны 50 мм, высота загрузки – 1,6 м, скорость фильтрования 6 м/ч. Концентрация ортофосфата натрия 1-3 %.

Сравнительные экспериментальные данные технологических показателей процесса очистки в зависимости от применяемых реагентов для удаления фтора и железа приведены в таблице.

Таблица – Применение различных видов реагентов для одновременного удаления фтора и железа

Показатели процесса очистки	Традиционная схема	Предлагаемые способы очистки		
		1	2	3
Производительность, м ³ /ч	10	10	15	15
Продолжительность фильтроцикла, ч	16	28	28	26
Расход хлора, мг/мг Fe	0,64	–		
Расход Al ₂ (SO ₄) ₃ , мг/мг F	40	25	22	25
Расход Na ₃ PO ₄ , мг/мг F	–	10		
Расход Na ₃ HPO ₄ , мг/мг F			12	
Расход Na ₆ P ₆ O ₁₈ , мг/мг F				5-8

Как видно из данных таблицы, применение данных реагентов для модификации зернистой загрузки фильтра может быть значительно эффективно влиять на технологические параметры процесса очистки воды. По сравнению с ранее применяемыми способами существенно увеличивается продолжительность фильтроцикла и производительность, так как происходит выравнивание скорости протекания процессов удаления фтора и железа. За счёт проведения технологического процесса в одном устройстве, объём сооружений сокращается в 2 раза.

Современные станции очистки подземной воды от фтора и железа представляют собой автономные, автоматизированные блоки. ЗАО «ЭКОХОЛДИНГ» (г. Москва) производит установки на основе схемы типа «Струя», предназначенные для очистки природных вод с целью их умягчения, обезжелезивания, обеззараживания для водоснабжения поселков, объектов временного или сезонного водоснабжения, больнично-санаторных комплексов и других небольших объектов.

Производительность данной системы варьируется от 100 до 1600 м³/сутки. Средний срок эксплуатации системы рассчитан на 15-20 лет. Качество поступающей воды: взвешенные вещества – до 1000 мг/л, жесткость – 8-10 мг-экв/л, фтор – до 4 мг/л, железо – 10-50 мг/л, сероводорода – 2-3 мг/л, сульфатов – до 350 мг/л, свободной углекислоты – до 150 мг/л, окисляемость – 30-40 мг/л O₂, pH > 6.

Процесс обработки воды происходит в несколько этапов. Основными узлами системы являются: напорный скорый фильтр, напорный тонкослойный отстойник, блоки коагулирования, обеззараживания и подщелачивания, система автоматики и управления. Очищенная вода соответствует нормативным требованиям.