

УДК 628.16

## ОБРАБОТКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЛОЖНОГО СОСТАВА НА НАПОРНЫХ УСТАНОВКАХ

В.П. ПРОСОЛОВ

(Представлено: канд. техн. наук, доц. В.Д. Ющенко; Е.С. Велюго)

В статье изучены особенности очистки подземных вод сложного состава, содержащих железо и аммиачные соединения, на установках напорного типа и проведены исследования с разработкой технологической схемы на конкретном выбранном объекте.

**Введение.** Системы водоснабжения являются важными показателями жизнеобеспечения населения. От стабильного функционирования указанных систем зависит нормальная работа населенных пунктов, предприятий, здоровье и безопасность жителей [1,2].

Обеспечение населения водой нормативного качества для городов и поселков городского типа на данный момент является практически решенной задачей. Но, вследствие неравной доступности современных благ и услуг малонаселенных пунктов, это еще остается *актуальной и значимой* проблемой.

**Целью** данной работы является изучить особенности очистки подземных вод сложного состава, содержащих железо и аммиачные соединения на установках напорного типа и провести исследования с разработкой технологической схемы на конкретном выбранном объекте.

Для проведения эксперимента необходимо было выбрать малый объект водоснабжения, артезианские воды которого содержали в своем составе железо и аммонийные соли. Трудность борьбы с аммиачными соединениями в подземной воде определяется его химическими свойствами: высокой растворимостью этого соединения, что ведет к увеличению их концентрации в водоносном горизонте, а также способностью азотсодержащих компонентов накапливаться в подземной воде во всем природном диапазоне *Еh-pH* состояний подземных вод. При очистке воды от азотсодержащих соединений надо учитывать, что конечный продукт должен быть экологически чистым [3–5]. По этим показателям была определена деревня, расположенная в Витебской области. Для очистки воды была построена станция водоподготовки напорного типа, номинальной производительностью 4 м<sup>3</sup>/ч.

Состав воды из подземного источника при проектировании станции водоподготовки был принят по результатам анализов в зимний период, когда концентрация железа составляла порядка 5 мг/дм<sup>3</sup>, а аммония  $NH_4^+$  – до 0,7 мг/дм<sup>3</sup>. В летний период эти концентрации увеличились до 6 мг/л (железо) и 2,3–3,1 мг/дм<sup>3</sup> (аммония  $NH_4^+$ ). Также произошло увеличение и окисляемости воды (5.09 – 5.31 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>), что указывает на наличие органических веществ в воде, кроме аммонийных соединений. В этих условиях станция водоподготовки не смогла обеспечить нормативные показатели по СанПиН 10-124 РБ 99.

Увеличение концентраций в летний период обусловлено расположением рядом со скважиной сельскохозяйственных полей и в относительной близости ферм крупнорогатого скота, где с азотсодержащими удобрениями и отходами обращаются недостаточно осмотрительно.

Кроме того, было установлено, что водонапорная башня не могла обеспечить промывку фильтров с требуемым расходом промывной воды. Таким образом, необходимо было выполнить ряд мероприятий по изменению технологической схемы очистки и подачи к потребителю подземной воды с получением нормативных показателей.

**Методология исследований.** Исследовательские работы выполнялись на лабораторных (50 мм) и производственных фильтрах в следующей последовательности:

- выполнена ревизия существующей водонапорной башни для обеспечения промывки фильтров станции водоподготовки;
- производилось увеличение степени аэрации воды воздухом, используя вместо эжекторов компрессионные установки;
- изменялась схема аэрирования воды перед фильтрами обезжелезивания путем установки аэрационных колонн;
- для интенсификации снижения железа исследована загрузка совместного применения песка и сорбента типа АС;

При выполнении экспериментальных исследований применялись физико-химические и технологические методы, опытно-конструкторские разработки, технологические исследования и производственные испытания.

Определение концентрации аммоний-ионов осуществлялось в соответствии с методикой определения минеральных азотсодержащих веществ с использованием коллометрического и потенциометрического методов. Метод позволяет определять аммоний-ионы в природных водах любой минерализации с относительной ошибкой 10%.

Определение железа общего осуществлялось по методике вычисления измерений концентрации железа (III) и железа общего фотометрическим методом сульфосалициловой кислотой. Цветность исследу-

дурмой воды определяется качественно по дихромат-кобальтовой шкале, сравнивая цвет исследуемой воды с растворами, приготовленными на дистиллированной воде.

**Проведение эксперимента. Вариант 1.** Метод упрощенной аэрацией с последующим фильтрованием по исходной технологической схеме на фильтрах с песчаной загрузкой.

Сжатый воздух подавался в трубопровод исходной воды при помощи компрессоров в каждый фильтр, его избыток удалялся из фильтров вантузами. Станция водоподготовки работала в переменном режиме 2,5-4 м<sup>3</sup>/ч. Периодичность промывки была принято 1 раз в 7 суток.

Отмечено быстрое и значительное засорение вантузов (продолжительность работы до 3 суток) и всего слоя загрузки, что происходит из-за неудовлетворительной промывки фильтров.

При эксплуатации фильтров остаточные концентрации по железу составили 2,2 (исходная – до 6) мг/дм<sup>3</sup>, по аммонийному азоту ~ 3.1 (равна исходной) мг/дм<sup>3</sup>. Окисляемость также была равна исходной и составила порядка 5,31 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Концентрация кислорода в воде после фильтров отсутствовала.

**Вариант 2.** Для удовлетворительной промывки фильтров станции водоподготовки была проведена ревизия существующей водонапорной башни с заменой участка водопровода с 50 на 100 мм между ними. Это позволило упорядочить равномерную работу станции водоподготовки с номинальным расходом 4 м<sup>3</sup>/ч и осуществлять нормальный режим промывки фильтров, которая была установлена 1 раз в сутки. Замерами было получено значение соотношения подачи воздуха в обрабатываемую воду 3:1. При эксплуатации в этом варианте и постоянном режиме подачи воды остаточные концентрации по железу составили 1,4 мг/дм<sup>3</sup>, по аммонийному азоту – 2,2 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация кислорода в воде после фильтров также отсутствовала.

Учитывая, что в виду отсутствия прибора невозможно было определить окислительно-восстановительный потенциал  $Eh$ , можно только предположить, что его значения для данной подземной воды будут менее 110 (порядка 60-80) мВ, что и затрудняло ведение окислительных процессов по железу и аммиаку.

Полученные результаты по двум вариантам экспериментов свидетельствует о том, что такая методика обработки подземных вод сложного состава не может работать без усовершенствования самой технологии водоочистки. В дальнейшем эксперименты проводились при постоянном режиме работы станции водоподготовки.

**Вариант 3.** Вместо непосредственной подачи воздуха в фильтры была установлена аэрационная напорная емкость с винтовым диспергатором. Подача воздуха осуществлялась от компрессора. Время контакта воды с воздухом в аэраторе составила 2-3 мин, там же производилось удаление избыточного воздуха, после чего вода подавалась на фильтры, где остаточный воздух удалялся через вантузы. В очищенной воде концентрация железа снизилась до 0,7-0,8...1,0 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация кислорода в воде после аэратора увеличилась и на выходе составила в пределах 0,2-0,5 мг/дм<sup>3</sup>. Очевидно, что повышение концентрации кислорода после аэратора позволило увеличить эффект удаления железа, но все равно не достигало желаемого результата – 0,3 мг/дм<sup>3</sup>.

В дальнейшем на аэрационной колонне было перекрыто удаление избыточного воздуха и увеличен диаметр вантузов, т.е. воздух полностью удалялся уже в фильтрах. Концентрация кислорода в воде после аэрации достигала свыше 8,5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, но после фильтров все равно была всего лишь 0,5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. В очищенной воде не было достигнуто нормативное содержание железа, которое снизилось до 0,7...0,9 мг/дм<sup>3</sup>, удаление аммонийного азота происходило незначительно и составляло выше 2,1 мг/дм<sup>3</sup>. Увеличение диаметра вантузов фильтров позволило повысить промежуток между их прочистками 1 раз в 3 суток, что является наиболее рациональной величиной, при которой, с одной стороны, засорение загрузки фильтров не превышало 1%, а с другой не допускалось ухудшение санитарных показателей.

**Вариант 4.** Аэрационная колонна была загружена кольцами Паля (пластмассовые трубки диаметром и высотой 30 мм). Также применена модифицированная загрузка в фильтрах, состоящая из песчаной загрузки фильтров и сорбента АС (фракция 1,5...3,0 мм.) в соотношении 1:1 и общей высотой 1,0 м (осень 2021 г). Предварительные эксперименты были проведены на лабораторных, а уже затем на производственных фильтрах. Результаты практически были идентичные.

Сорбент АС действует как катализатор окисления в реакциях взаимодействия растворенного кислорода с соединениями железа (II) и (III), в результате которой образуется гидроксид железа (III), который является не растворимым соединением и легко удаляется обратным током воды. Сероводород также окисляется и задерживаются в последующих слоях загрузки с удалением обратным током воды. Сорбент не требует для регенерации применение каких-либо химических реагентов. Необходимой и достаточной является периодическая промывка обратным током воды.

Проведенными работами был достигнут положительный результат по остаточному железу (устойчиво ниже 0,3 мг/ дм<sup>3</sup>) и аммонийному азоту менее 1,7 мг/дм<sup>3</sup>. Увеличился период между прочистками вантузов 12-15 суток. Рекомендуемый режим промывки 1 раз в 3 суток.

**Выводы и обсуждение результатов исследований.** Исходный состав воды из скважины имеет значительные концентрации железа до 6 и аммония до 3,1 мг/дм<sup>3</sup>. Существующая станция водоподготовки с компрессорной системой аэрации и фильтрами с песчаной загрузкой не смогла обеспечить нормируемые показатели фильтрата в 0,3 и 2,0 мг/дм<sup>3</sup>.

Установлено, что для станций рассматриваемого ряда по производительности до 300 – 500 м<sup>3</sup>/сут и содержащих железо и аммонийный азот метод упрощенной аэрации с использованием компрессоров и последующим фильтрованием на песчаных фильтрах не дают положительный нормативный результат по указанным загрязнениям. При содержании аммонийного азота свыше 2,0 или нитратов более 45 мг/дм<sup>3</sup> практически только незначительная часть кислорода воздуха расходуется на окисление железа, при этом полностью не решает задача его удаления и снижения концентрации загрязнителей азотной группы.

Установка аэрационной колонны (с подачей воздуха от компрессора) до фильтров улучшает процесс удаления железа, но также не удаляет азотную группу. Следует отметить, что уже содержание аммонийного азота свыше 0,7...0,8 мг/дм<sup>3</sup> или нитратов более 25 мг/дм<sup>3</sup> значительно осложняет процессы удаления железа, и желательнее применять компрессоры с повышением соотношения воздуха и воды до 5-6 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Использование вместо песка сорбента типа АС в фильтрах, дает стабильный высокий эффект удаления железа 0,3 мг/дм<sup>3</sup> и менее, а также снижения аммония или нитратов до 2 мг/дм<sup>3</sup> при исходной их концентрации не более 3 мг/дм<sup>3</sup>.

Результаты экспериментов представлены на рисунках 1 и 2.

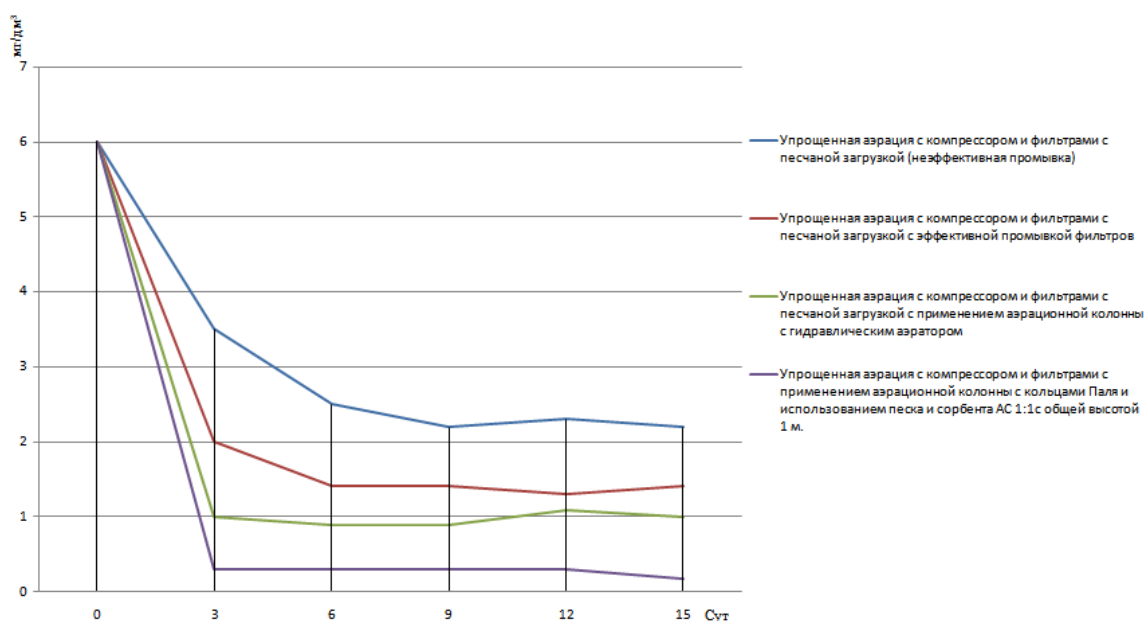


Рисунок 1. – График изменения концентрации «железо общее» в очищенной воде

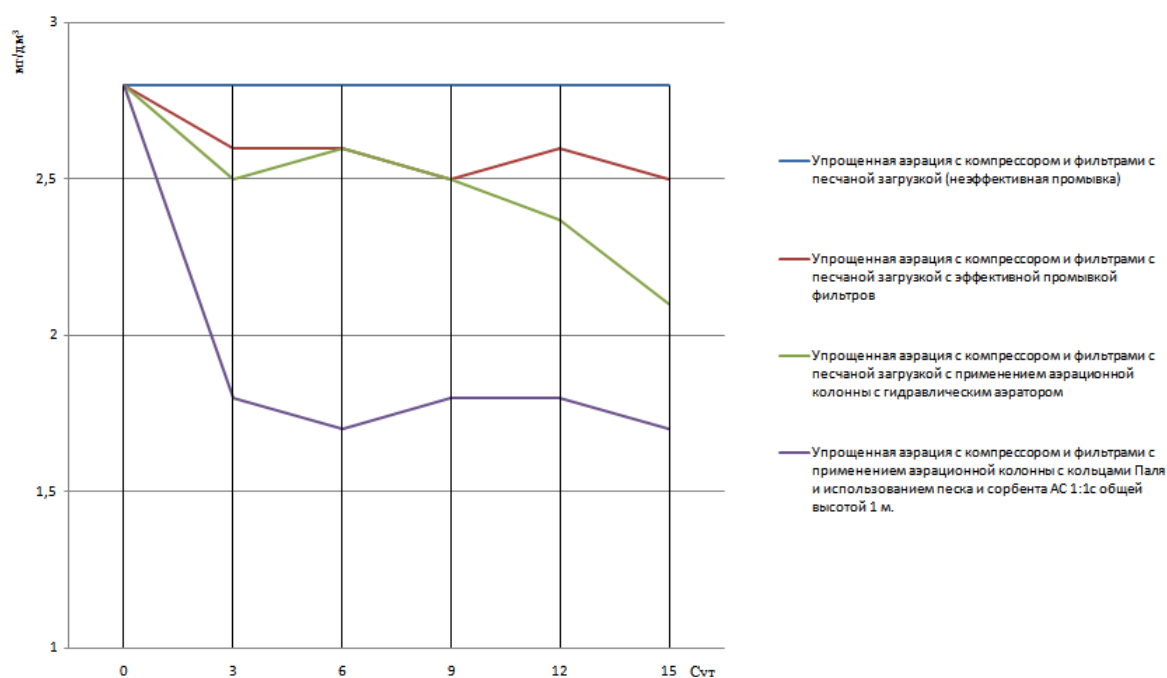


Рисунок 2. – График изменения концентрации аммония в очищенной воде

Таким образом, разработана технологическая схема очистки подземной воды от железа и аммония: исходная вода из скважины – компрессор-аэрационная колонна с кольцами Паля – фильтры обезжелезивания и снижения аммонийного азота (песок и сорбент АС) – водонапорная башня – водопроводная сеть. Эта схема позволяет получить устойчивые результаты по остаточным загрязнениям ниже нормативных значений.

**Заключение.** Рациональное применение аэрационных методов снижения железа в присутствии аммонийного азота для малых населенных пунктов указывает на использование технологической схемы с применением аэрационной колонны и фильтра с загрузкой из песка и сорбента АС (1:1). Использование заявленной схемы позволит повысить степень очистки подземной воды от соединений двухвалентного железа с содержанием в воде аммонийного азота, а также снизить затраты на изготовление установки и процесса очистки.

На получение воды хозяйственно-питьевого назначения влияет исходный состав воды из скважин, производительность системы водоснабжения, отсутствие учета водопотребления, неравномерный гидравлический режим работы станций водоподготовки. Для станций рассматриваемого ряда по производительности до 200 м<sup>3</sup>/сут и содержащих железо и аммонийный азот метод упрощенной аэрации с использованием компрессоров и последующим фильтрованием на песчаных фильтрах не дают положительный нормативный результат по указанным загрязнениям.

Рациональное применение аэрационных методов снижения железа в присутствии аммонийного азота для малых населенных пунктов указывает на использование технологической схемы с использованием аэрационных колонн с последующим фильтрованием на модифицированных загрузках. Для равномерной работы станции водоподготовки желательно использовать водонапорную башню, или железобетонные резервуары чистой воды, где это будет признано целесообразным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Водная стратегия Республики Беларусь на период до 2020 года. Проект, коллектив авторов, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Минск: 2010. – 43 с.
2. Водный Кодекс Республики Беларусь: Кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-З (ред. от 05.01.2022 г.) // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. - Минск: Амалфея, 2022. – 76 с.
3. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. М.: Стройздат, 2003. – 228 с.
4. Галай, Е.И. Использование природных ресурсов и охрана природы / Е.И. Галай. – Минск : Высшая школа, 2007. – 252 с.
5. Ющенко В.Д., Велого Е.С., Рашкевич Е.И., Просолов В.П. Седлуха С.В. Основные пути и решения проектирования систем водоподготовки малых населенных пунктов в республике Беларусь. Полоцкий Государственный Университет. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки, 2021.