

УДАЛЕНИЕ АГРЕССИВНЫХ ГАЗОВ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ВОД МЕТОДОМ АЭРИРОВАНИЯ

А. А. Жабина

Воронежский государственный университет

С. А. Ковалев

ООО НПФ «Воронежгидрогеоэкология»

Поступила в редакцию 28 января 2014 г.

Аннотация: рассмотрена проблема резкого увеличения содержания железа в подземных водах при эксплуатации водозабора «Кривой Лог» в г. Курске. Приведена конструкция и сделан анализ экономической эффективности внедренной установки по дегазации воды в стволе скважины. Установка легко изготавливается и монтируется, и ее применение возможно как для дегазации подземных вод, так и для предварительного окисления железа и марганца перед поступлением на очистные сооружения различного типа.

Ключевые слова: подземные воды, железо, сероводород, аэрирование, водозаборная скважина.

Abstract: considered the problem of a sharp increase in iron content in groundwater (up to 6,7 mg/dm³ at the consumer) at the operation of water intake «Crooked Log» in Kursk. Shows the design and made cost-effectiveness analysis of embedded installation degassing of water in the well. Installing easily manufactured and assembled. Use of installation is possible for decontamination of groundwater and pre-oxidation of iron and manganese before the treatment facilities of various types.

Key words: groundwater, iron, hydrogen sulfide, aeration, water well.

Пресные подземные воды в меньшей степени, чем поверхностные, подвержены загрязнению и представляют собой ценный источник водоснабжения. Широко распространенным естественным компонентом в подземных водах на территории Российской Федерации является железо, содержание которого может в несколько раз превышать предельно допустимую концентрацию (ПДК) для питьевого водоснабжения – 0,3 мг/дм³. Данное обстоятельство ограничивает непосредственное использование таких вод для целей водоснабжения и требует сооружения дорогостоящих станций обезжелезивания.

Железо в подземных водах находится в различных формах – от простых ионных и гидролитических форм до сложных органических и минеральных комплексов, коллоидов и тонкодисперсной минеральной взвеси. Формы железа, находящиеся в динамическом равновесии между собой, с одной стороны, и подземными водами – с другой, весьма неустойчивы [1].

Накопление высоких концентраций железа происходит в подземных водах, перекрытых водоупорами, при отсутствии кислорода и низком значении окислительно-восстановительного потенциала. Данные воды – наиболее распространенный геохимический тип железосодержащих подземных вод, исполь-

зуемых в хозяйственно-питьевом водоснабжении [2]. Такие воды формируются в верхних горизонтах многих артезианских бассейнов, а также в корях выветривания и зонах тектонических нарушений массивов кристаллических пород [3].

Условием, благоприятным для увеличения концентраций Fe²⁺ в бескислородных и бессульфидных водах, является рост концентраций CO₂ в системе и уменьшение pH. При снижении pH термодинамически возможные концентрации Fe²⁺ в подземных водах резко увеличиваются и могут значительно превышать реальные концентрации железа. С ростом pH подземные воды приближаются к насыщению по FeCO₃ и дальнейшее накопление Fe²⁺ в этих водах замедляется.

Другим механизмом увеличения железа в подаваемой потребителям воде являются агрессивные газы H₂S и CO₂, которые, при определенном их количестве в соотношении, интенсивно корродируют стальные водоводы и другие металлические поверхности. Источником газов могут служить сульфатредуцирующие бактерии, использующие кислород сульфатов для дыхания, выделяя сероводород.

Данная проблема рассмотрена на примере водозабора «Крутой Лог» в г. Курске, где в 2006 г. было установлено резкое увеличение содержания железа в подземных водах (до 6,7 мг/дм³ у потребителя). Водозабор эксплуатирует юрско-девонский водоносный

комплекс, воды которого по химическому составу гидрокарбонатные кальциево-магниевые, магниевые-кальциевые с минерализацией от 0,3 до 0,6 мг/дм³. Водовмещающими породами являются пески с прослоями гипсов, залегающие на глубине 140 м. В течение первых двух лет эксплуатации водозабора вода подавалась с хорошими вкусовыми качествами и соответствующая СанПиН № 2.1.4. 1074-01 «Питьевая вода» практически по всем показателям, за исключением слабого запаха сероводорода и повышенного содержания железа (0,6–0,8 мг/дм³), что является особенностью данного региона.

По истечении двух лет эксплуатации водозабора качество воды резко ухудшилось. Вода у потребителей стала желтовато-бурого цвета из-за большого содержания железа с сильным неприятным запахом сероводорода.

В результате обследования водозаборных сооружений и водоводов ВЗУ (водозаборного узла) «Крутой Лог» было установлено, что содержание железа в воде возрастает по цепочке скважина–водовод–насосная станция–потребитель. Содержание железа в этот период составляло 1,0–1,2 мг/дм³ на выходе из скважины, 2,0–2,5 мг/дм³ – нанососной станции II-го подъема. У потребителей в разводящей сети содержание железа достигало 4,0–6,7 мг/дм³.

Наиболее вероятной причиной увеличения концентрации железа в воде при прохождении ее через водозаборные сооружения и водоводы является коррозия стальных труб агрессивными газами. Эти газы являются продуктом жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий.

При решении данной проблемы наиболее простым и эффективным способом очищения воды от агрессивных газов является аэрация. Аэратор в нашем случае должен располагаться в непосредственной близости от скважин, чтобы не произошло увеличения концентрации железа при транспортировке воды по водоводам. Кроме того, необходимо было установить дополнительный насос для подачи дегазированной воды от аэратора до насосной станции второго подъема, а также построить помещение для размещения станции аэрации.

В связи с неудовлетворительным качеством питьевой воды в 2006 г. в жилом районе г. Курска, необходимо было найти путь скорейшего решения проблемы. Что и было осуществлено специалистами МУП «Курскводоканал» за очень короткое время своими силами и с минимальными затратами.

Для решения поставленной задачи была разработана, смонтирована и запущена в работу принципиально новая установка аэрации воды (патент на полезную модель № 65884), которая позволила снизить содержание железа в воде у потребителя практически до нормы [4].

В разработанной установке аэрация воды происходит непосредственно в стволе водозаборной скважины (см. рисунок) – в кольцевой зазор между стенками обсадной трубы и водоподъемной колонной через водовоздушный эжектор обратно в скважину подается 10–15 % поднимаемой воды. За время падения обратно в скважину происходит очистка воды от части агрессивных газов и насыщение ее кислородом, который окисляет оставшиеся газы. Выделившаяся часть газов удаляется через газоотводящую трубку. При контакте падающей аэрированной воды с водой в стволе водозаборной скважины образуется «кипящий слой», где происходит дополнительное окисление содержащихся в воде газов аэрированной водой и захваченным ею кислородом. Рациональным является размещение устройства для аэрации на водоподъемной колонне в верхней части ствола водозаборной скважины, что обеспечивает максимальную эффективность.

В результате процессов, происходящих в водозаборной скважине: аэрировании части воды эжектором, дополнительного аэрирования воды при падении до контакта с динамическим уровнем, аэрировании в «кипящем слое» – происходит эффективная очистка воды от CO₂ и H₂S, уменьшение концентрации агрессивных газов в неаэрированной воде, находящейся в скважине, а также ее обогащение излишками кислорода, захваченного в «кипящем слое».

Расчет экономического эффекта от внедрения запатентованной установки производился путем сопоставления приведенных затрат по базисному и внедряемому вариантам.

Годовой экономический эффект рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E} = (Z_1 - Z_2) \times A,$$

где Z_1 и Z_2 – приведенные затраты единицы продукции по базовому и внедряемому вариантам соответственно; A – объем производства продукции по внедряемому варианту запатентованной установки за год.

Объем производства (добыча и очистка воды) равен 1131568 м³.

Приведенные затраты по базовому варианту Z_1 – это затраты на приобретение установки водоподготовки «ВОС-4000» с проектированием и ее эксплуатацию. С учетом себестоимости и эксплуатации установки, а также заработной платы обслуживающего персонала, стоимости электроэнергии, объема воды на промывку, амортизационных отчислений, цеховых и общехозяйственных расходов затраты составят:

$$Z_1 = C_1 + E_n \times K_1 = 12,012 + (0,15 \times 29,358) = 16,416,$$

где C_1 – себестоимость по базовому варианту; E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности (0,15 по методике расчета); K_1 – приведенные затраты по базовому варианту.

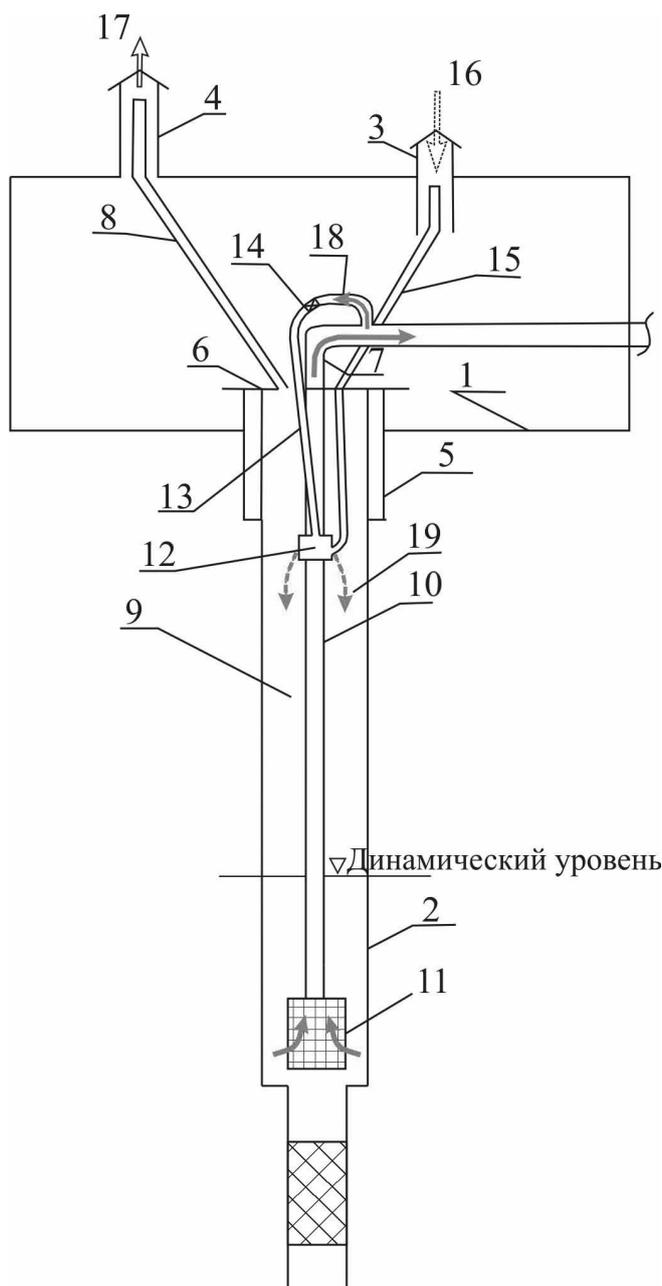


Рисунок. Схема установки внутрискважинного аэрирования.

Обозначения: 1 – павильон водозаборной скважины; 2 – водозаборная скважина; 3 – приточная вентиляционная труба; 4 – вытяжная вентиляционная труба; 5 – кондуктор; 6 – оголовок; 7 – оголовок; 8 – газоотводящая трубка; 9 – ствол скважины; 10 – водоподъемная колонна; 11 – погружной насос; 12 – водо-воздушный эжектор; 13 – водоподводящая труба; 14 – регулировочный вентиль; 15 – воздуховод; 16 – поступление воздуха; 17 – выход агрессивных газов; 18 – движение воды; 19 – выход водовоздушной смеси

Приведенные затраты Z_2 при использовании внедряемой установки:

$$Z_2 = C_2 + E_n \times K_2 = 6,292 + (0,15 \times 0,006) = 6,293,$$

где C_2 – себестоимость единицы продукции на момент внедрения установки составляла 6,292 руб.; K_2 – удельные капитальные вложения при внедрении установки рассчитываются путем деления суммы затрат на изготовление и монтаж 6 установок (по количеству скважин) на производительность за год, т.е.:

$$K_2 = \frac{(2101,23 + 4956)}{1131568} = 0,006.$$

Таким образом:

$$\Delta = (16,416 - 6,293) \times 1131568 = 11\,453\,731,3 \text{ руб.}$$

Исходя из расчетов, затраты на приобретение установки водоподготовки «ВОС-4000» превысят затраты на внедрение запатентованной установки в 2,5 раза, и достигнутый годовой экономический эффект явно оправдывает внедрение запатентованной установки.

Работа установки оказалась очень эффективной – содержание железа упало на скважине с 1,0–1,2 до 0,6–0,7 мг/дм³; на насосной станции II-го подъема – с 3,0–4,0 мг/дм³ до 0,4–0,6 мг/дм³; у потребителей – с 3,5–4,0 мг/дм³ до 0,5–0,7 мг/дм³. Запах сероводорода полностью исчез.

Данная установка может найти свое применение в различных условиях, при различном химическом составе подземных вод и может быть установлена на скважинах практически любой конструкции, независимо от диаметра и производительности. Установка легко изготавливается и монтируется, ее применение возможно как для дегазации подземных вод, так и для предварительного окисления железа и марганца перед подачей воды на очистные сооружения различного типа.

Учитывая результаты проведенного исследования, можем сделать несколько выводов:

1. Применение установки аэрации воды в водозаборной скважине, значительно улучшило (практически до санитарных норм) качество питьевой воды.
2. При использовании установки отпала необходимость в строительстве дорогостоящей станции водоподготовки.
3. Прекратилась коррозия водоводов системы водоснабжения.
4. Питьевая вода не потеряла хороших вкусовых качеств и «не обогатилась» различными химическими соединениями, образующимися при применении коагулянтов, флокулянтов и других катализаторов, используемых при обезжелезивании подземных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Труфанов А. И. Формирование железистых подземных вод / А. И. Труфанов ; под ред. Н. А. Маринова. – М. : Наука, 1982. – 139 с.
2. Крайнов С. Р. Гидрохимия : учеб. пособие / С. Р. Крайнов, В. М. Швец. – М. : Недра, 1992. – 463 с.

3. Гидрогеология СССР. – М.: Недра, 1972. Т. IV. – 499 с.
4. Ковалев С. А. Кондиционирование подземных вод на водозаборе северо-западного микрорайона г. Курска / С. А. Ковалев // ЧИСТАЯ ВОДА – 2009 : труды Междунар. науч.-практ.

конф. (20–21 октября 2009 г.) / под общ. ред. Т. А. Красновой ; Кемеровский технологич. ин-т пищевой промышленности. – Кемерово, 2009. – С. 124–125.

Воронежский государственный университет

Жабина А. А., аспирант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии

E-mail: zhabina_anna@mail.ru

Тел.: 8-915-584-11-97

Voronezh State University

Zhabina A. A., Post-graduate Student of the Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology Department

E-mail: zhabina_anna@mail.ru

Tel.: 8-915-584-11-97

ООО НПФ «Воронежгидрогеоэкология»

Ковалев С. А. главный гидрогеолог

E-mail: gidrogeol@mail.ru

Тел.: 8 (473) 220-89-80

LLC Scientific & Production Company «Voronezh-hydrogeoecology»

Kovalev S. A., Chief Hydrogeologist

E-mail: gidrogeol@mail.ru

Tel.: 8 (473) 220-89-80