

УДК 628.1.033:504.43

## Кондиционирование холодных маломинерализованных подземных вод

А. В. СЕЛЮКОВ

ЗАО “ДАР/ВОДГЕО”,  
ул. Гидрогородок, 15, Московская обл., Железнодорожный 143982 (Россия)

E-mail: a-selyukov@yandex.ru

(Поступила 05.12.11; после доработки 20.12.11)

### Аннотация

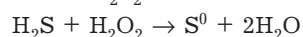
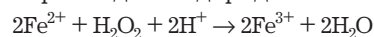
Разработана новая технология кондиционирования холодных маломинерализованных подземных вод, характерных для севера Тюменской области России. Технология предусматривает использование трех химических реагентов – пероксида водорода, перманганата калия и гидроксида натрия, обеспечивает очистку воды от железа, марганца, сероводорода и кремния до нормативов питьевого водоснабжения, а также стабилизационную обработку воды. Приведены обоснование выбора типа реагента стабилизационной обработки и результаты испытаний технологии.

**Ключевые слова:** подземные воды, железо, марганец, сероводород, кремний, стабилизационная обработка, пероксид водорода, перманганат калия, гидроксид натрия, технология кондиционирования воды

### ВВЕДЕНИЕ

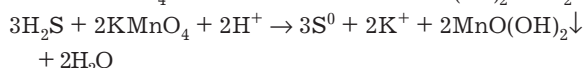
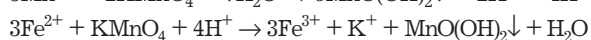
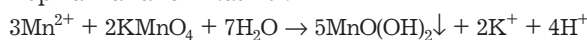
В 2001–2007 гг. нами разработана новая технология кондиционирования подземных вод для целей питьевого водоснабжения [1–5]. Эта технология достаточно полно учитывает особенности состава и физических свойств подземных вод севера Тюменской области (экстремально низкие температура, щелочность, жесткость, минерализация). В силу специфики этих вод попытки применить к ним технологические процессы, предусмотренные действующими нормативными документами [6, 7], оказывались неэффективными и не обеспечивали нормативное качество очищенной воды [8].

В основу новой технологии положены процессы окисления железа 2+ и сероводорода пероксидом водорода:



а также процессы окисления марганца 2+, доокисления железа 2+ и сероводорода, вос-

становления остаточного пероксида водорода перманганатом калия:



Отделение нерастворимых продуктов реакции производится путем фильтрования через кварцевый песок.

Предложенные технологические решения защищены патентом РФ [9]. При этом пероксид водорода и перманганат калия сертифицированы нами как реагенты питьевого водоснабжения [10, 11]. Разработанная технология успешно реализована в городах Ноябрьске и Новом Уренгое, где были созданы городские водопроводные очистные сооружения (ВОС) производительностью 75.0 и 65.0 тыс. м<sup>3</sup>/сут соответственно. В постоянную эксплуатацию ВОС г. Ноябрьск приняты в сентябре 2006 г., Нового Уренгоя – в декабре 2007 г.

ТАБЛИЦА 1

Содержание тяжелых металлов в сырой и очищенной воде, мг/дм<sup>3</sup>

Компоненты	Место отбора пробы				Норматив по СанПиН 2.1.4.1074-01
	PCB-1	PCB-2	PCB-3	PCB	
Барий	0.016	0.016	0.017	0.012	0.7
Бериллий	0.000055	0.000089	0.000082	0.00004	0.0002
Бор	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0.5
Кадмий	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	0.001
Кобальт	0.00075	0.0023	0.0044	<0.0002	0.1
Молибден	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.07
Мышьяк	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.01
Никель	0.00032	0.0012	0.003	0.0012	0.02
Ртуть	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0005
Свинец	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.01
Селен	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.01
Серебро	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	0.05
Хром 6+	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.05
Цинк	0.0025	0.0046	0.0042	0.0035	1.0

Примечание. PCB – резервуар сырой воды, PCB – резервуар чистой воды.

По содержанию элементов очистные сооружения в основном обеспечили нормативное качество воды, мг/дм<sup>3</sup>: Fe<sub>общ</sub> <0.1, Mn <0.05, H<sub>2</sub>S <0.001, остаточный H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> <0.1.

Как известно, применение реагентов при очистке питьевой воды обычно сопровождается вторичным загрязнением воды их примесями. Наиболее типичные примеси минеральных реагентов – тяжелые металлы. В табл. 1 приведены данные по содержанию некоторых тяжелых металлов в сырой и очищенной воде ВОС Нового Уренгоя. Анализ выполнен через два года после начала постоянной эксплуатации, вода отбиралась из резервуаров сырой воды (PCB) и резервуара чистой воды (PCB).

Видно, что используемая схема реагентной обработки не приводит к ухудшению качества воды по содержанию тяжелых металлов. Снижение содержания некоторых компонентов (барий, бериллий, кобальт), по-видимому, происходит за счет соосаждения с продуктами реакций – гидроксидом железа и гидратом диоксида марганца. Последний обладает развитой поверхностью и является эффективным сорбентом.

Однако в течение первого года эксплуатации ВОС в отдельных пунктах распределительной сети Нового Уренгоя были отмечены

случаи вторичного загрязнения воды железом и марганцем. Проведенные нами исследования [12] позволили установить, что это явление обусловлено низкой стабильностью воды и растворением многолетних отложений, накапливающихся в трубах.

В связи с этим разработанная ранее технология дополнена стадией стабилизационной обработки.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Сравнительные испытания доступных реагентов стабилизационной обработки (гашеная известь Ca(OH)<sub>2</sub>, каустическая сода NaOH, кальцинированная сода Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) в лабораторных условиях (рис. 1) указывают на целесообразность использования каустической соды: ее необходимая доза более чем вдвое меньше соответствующей дозы кальцинированной соды. В отличие от извести NaOH обладает достаточной чистотой для питьевого водоснабжения и не имеет нерастворимой части.

При выборе марки реагента стабилизационной обработки предпочтение отдано каустической соде производства КНР (стандарт GB 5175-2008). В Европе и Америке этот продукт сертифицирован как пищевая добавка

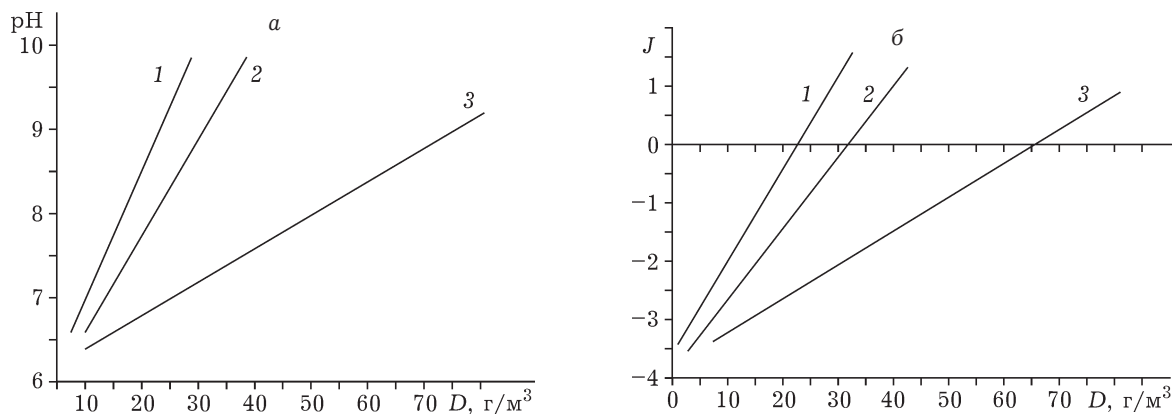


Рис. 1. Зависимости активной реакции обработанной воды (а) и индекса Ланжелье (б) от дозы реагентов (D) в сравнительных испытаниях: 1 – CaO, 2 – NaOH, 3 – Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

(регулятор кислотности), в России – как реагент питьевого водоснабжения [13].

Проведенные пилотные испытания подтвердили работоспособность предложенного решения. Ниже приведены характеристики состава воды, направляемой на пилотную установку в период испытаний, после обработки ее пероксидом водорода:

рН	5.9–6.1
Щелочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	0.18–0.22
Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	22–28
Кальций, мг/дм <sup>3</sup>	15.0–18.0
Индекс Ланжелье	–2.4...–2.8
Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	5.4–7.2
Железо 2+, мг/дм <sup>3</sup>	0.20–0.50
Марганец, мг/дм <sup>3</sup>	0.32–0.48
Сероводород (сульфиды), мг/дм <sup>3</sup>	0.02–0.04
Пероксид водорода, мг/дм <sup>3</sup>	0.30–0.50
Кремний, мг/дм <sup>3</sup>	11.0–12.5
Температура, °С	4.3–5.9

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 показаны зависимости изменения основных показателей стабилизационной обработки воды в ходе пилотных испытаний. Видно, для достижения кислотности воды рН 7.25–7.50 необходимая доза реагента составляет 15–18.5 г/м<sup>3</sup>. В указанном диапазоне доз щелочность воды возрастает до 0.53–0.59 мг-экв/дм<sup>3</sup>, а индекс Ланжелье остается в области отрицательных значений. При дозе реагента в 5–10 г/м<sup>3</sup> кислотность воды варьирует в диапазоне рН 6.5–7.0, что, по-видимому, можно считать оптимальным решением для вод Нового Уренгоя. При дозе NaOH в 10 г/м<sup>3</sup> содержание натрия в питьевой воде повысится максимально на 6 мг/дм<sup>3</sup>. Благодаря низкой минерализации воды доза вводимого реагента может достигать 100 г/м<sup>3</sup> без угрозы превышения нормативного содержания натрия в питьевой воде (200 мг/дм<sup>3</sup>).

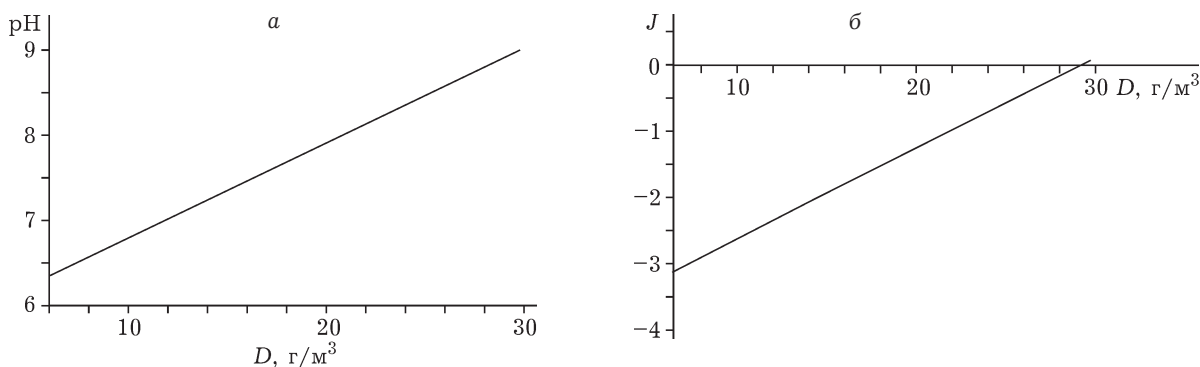


Рис. 2. Зависимости активной реакции фильтрата пилотной установки (а) и индекса Ланжелье (б) от дозы реагента (D).

ТАБЛИЦА 2

Остаточное содержание железа и марганца в фильтрате пилотной установки

Доза щелочи, г/м <sup>3</sup>	Остаточное содержание, г/м <sup>3</sup>			
	Fe		Mn	
	при дозе KMnO <sub>4</sub> , г/м <sup>3</sup>			
	1.5	2.0	1.5	2.0
10	0.15	0.08	0.08	0.06
15	0.10	0.07	0.05	0.05
20	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
25	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
30	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

Щелочной реагент предлагается вводить одновременно с перманганатом калия. Для упрощения технологической схемы при пилотных испытаниях мы использовали комбинированный реагент – щелочной раствор перманганата калия.

С целью изучения влияния процесса стабилизационной обработки на основные технологические процессы ВОС – обезжелезивание и деманганацию – выполнены дополнительные измерения (табл. 2).

Видно, что при дозе каустической соды 15–20 г/м<sup>3</sup> остаточные содержания железа и

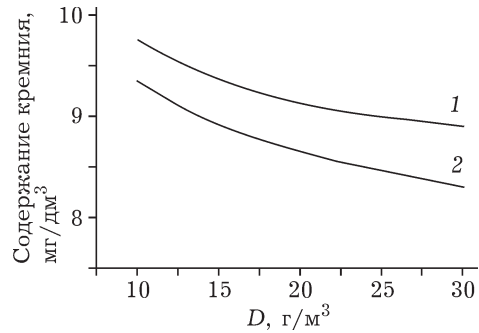


Рис. 3. Зависимость остаточного содержания кремния в фильтрате пилотной установки (Si) от дозы каустической соды (D). Доза перманганата калия, г/м<sup>3</sup>: 1.5 (1), 2.0 (2).

марганца не превышают 0.1 и 0.05 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. Что касается остаточных концентраций сероводорода и пероксида водорода, то они также соответствуют требованиям СанПиН.

Рабочая доза перманганата калия на ВОС Нового Уренгоя без применения технологии стабилизационной обработки составляет около 2.0 г/м<sup>3</sup>. При использовании стабилизационной обработки она может быть уменьшена на 25 % без ущерба для качества фильтрата.

В качестве дополнительного эффекта новой технологии очистки воды необходимо отметить снижение содержания кремния до нормативных значений. На рис. 3 приведена

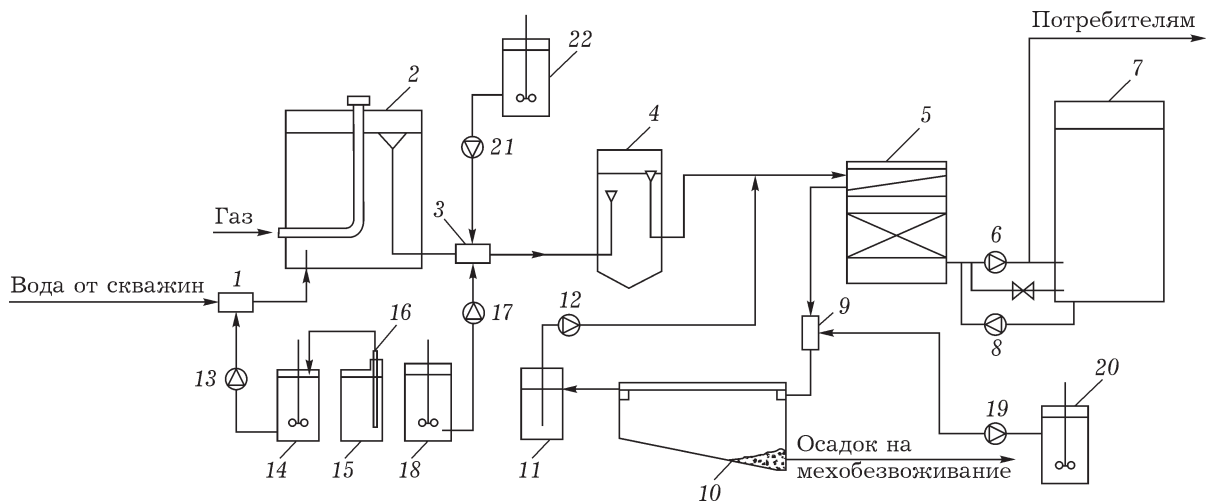


Рис. 4. Технологическая схема кондиционирования холодных маломинерализованных подземных вод: 1 – узел ввода пероксида водорода; 2 – резервуары сырой воды; 3 – узел ввода реагентов; 4 – контактная емкость; 5 – фильтровальная станция; 6 – насосная станция II подъема; 7 – резервуары чистой воды; 8 – насосная установка промывки фильтров; 9 – смеситель флокулянта; 10 – отстойники промывных вод; 11 – приемный резервуар; 12 – насосная станция промывных вод; 13 – насос-дозатор пероксида водорода; 14 – растворные баки пероксида водорода; 15 – тарная емкость пероксида водорода; 16 – насос товарного раствора пероксида водорода; 17 – насос-дозатор перманганата калия; 18 – растворно-расходные баки перманганата калия; 19 – насос-дозатор флокулянта; 20 – растворно-расходные баки флокулянта; 21 – насос-дозатор щелочного реагента; 22 – растворно-расходные баки реагента.

полученная в ходе пилотных испытаний зависимость остаточного содержания кремния в фильтрате от дозы щелочи при двух значениях дозы окислителя – 1.5 и 2.0 г/м<sup>3</sup>.

Видно, что предложенная нами технология обеспечивает уменьшение содержания кремния до значений ниже ПДК, причем этот эффект достигается и при снижении рабочей дозы перманганата калия с 2.0 до 1.5 г/м<sup>3</sup>.

На рис. 4 приведена технологическая схема кондиционирования холодных маломинерализованных подземных вод, предложенная нами для использования на ВОС города. Согласно схеме, исходная вода от скважин обрабатывается пероксидом водорода и направляется в резервуар сырой воды, где происходит практически полное окисление двухвалентного железа без образования взвеси и частичное окисление сероводорода. Подогрев воды в зимний период путем сжигания газа позволяет избежать ее замерзания при перекачке в город по наземной трассе. С целью стабилизационной обработки, доокисления двухвалентного железа и сероводорода, окисления марганца и восстановления остаточного пероксида водорода в воду добавляются растворы каустической соды и перманганата калия. Для отделения нерастворимых продуктов реакций используются песчаные фильтры. Фильтрованная вода поступает в блок резервуаров чистой воды, откуда подается потребителям.

В июне 2010 г. усовершенствованная технология прошла промышленные испытания на ВОС Нового Уренгоя при производительности около 30 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Их результаты соответствуют данным, полученным в ходе пилотных испытаний.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана новая технология кондиционирования подземных вод, позволяющая получать воду питьевого качества в тех случа-

ях, когда классические методы очистки воды от железа, марганца и сероводорода неэффективны (при низких температурах, минерализации, щелочности и жесткости воды). Предложенная технология также включает в себя стабилизационную обработку. Результаты испытаний подтвердили высокую эффективность предложенной технологии и могут быть использованы при проектировании и реконструкции водопроводных очистных сооружений в северных регионах России.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Селюков А. В., Куранов Н. П., Карасюк В. Ф. // Очистка и кондиционирование природных вод. М: НИИ ВОДГЕО, 2004. Вып. 5. С. 56–60.
- 2 Селюков А. В., Маслий В. Д. // Очистка и кондиционирование природных вод. М: НИИ ВОДГЕО, 2004. Вып. 5. С. 107–113.
- 3 Селюков А. В., Куранов Н. П., Маслий В. Д., Смирнов В. В. // Водоснабжение и сан. техника. 2006. № 5. С. 25–28.
- 4 Селюков А. В., Чекмарева С. В., Куранов Н. П., Смирнов В. В. // Водоснабжение и сан. техника. 2009. № 2. С. 33–37.
- 5 Маслий В. Д., Селюков А. В., Скурлатов Ю. И. // Химия уст. разв. 2009. Т. 17, № 5. С. 533–537.
- 6 СНиП 2.04.02–84\*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
- 7 Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий. М.: Стройиздат, 1977.
- 8 СанПиН 2.1.4.1074–01. Вода питьевая. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
- 9 Пат. 2288183 РФ, 2006.
- 10 Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.515.Д. 002871.04.06 от 07.04.2006 г. Водорода перекись.
- 11 Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.27.214.Д. 000742.02.08 от 04.02.2008 г. Реагент питьевого водоснабжения перманганат калия (калий марганцовокислый) модифицированный.
- 12 Отчет о НИР “Разработка технологии стабилизационной обработки воды для ВОС-65 г. Новый Уренгой”. М.: ЗАО “ДАР/ВОДГЕО”. 2009. 34 с.
- 13 Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.03.369.Д. 011081.09.09 от 23.09.2009 г. Реагент питьевого водоснабжения гидроокись натрия пищевая (сода каустическая пищевая).