

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ТЮМЕНСКОГО РЕГИОНА

А. Г. Жулин, О. В. Сидоренко, Л. В. Белова  
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

## TECHNOLOGICAL SCHEMES FOR DEFERRIZATION OF GROUNDWATER IN THE TYUMEN REGION

Alexander G. Zhulin, Olga V. Sidorenko, Larisa V. Belova  
Industrial University of Tyumen, Russia

**Аннотация.** Подземные воды Тюменского региона начиная с конца 1970-х годов широко использовались для питьевого водоснабжения, что обусловило повсеместное строительство станций обезжелезивания. Анализ литературных источников и наблюдение за некоторыми станциями обезжелезивания региона в течение длительного времени позволили систематизировать применяемые технологии обезжелезивания в хронологическом порядке по мере их усложнения. Наибольшее распространение на начальных этапах получил метод обезжелезивания с упрощенной аэрацией, что способствовало внедрению блочно-комплектных станций обезжелезивания на объектах средней и малой производительности. В настоящее время в связи с ужесточением требований к качеству питьевой воды происходит переход от безреагентных методов к реагентным, что, соответственно, ведет к отказу от типовых технологических схем обезжелезивания и применению станций подготовки воды, собираемых из узлов стандартного оборудования.

**Abstract.** Since the late 1970s, groundwater in the Tyumen region was widely used for drinking water supply. It was the reason of the widespread construction of deferrization stations. Analysis of literature and monitoring of some deferrization stations in the region for a long time allowed us to systematise the applied deferrization technologies in chronological order as they become more complex. The method of deferrization with simplified aeration was the most widespread in the initial stages. This decision facilitated the introduction of block-complete deferrization stations at medium and small capacity facilities. Nowadays, there is a transition from reagentless methods to reagent methods due to tightening of requirements to drinking water quality. This, accordingly, leads to the rejection of typical technological schemes of deferrization and the use of water treatment plants assembled from standard equipment units. The review of foreign and domestic studies showed that the existing results of their generalisation in the form of some mathematical dependencies

Обзор зарубежных и отечественных исследований обезжелезивания воды показал, что существующие результаты их обобщения в виде некоторых математических зависимостей недостаточны и требуют дальнейшего изучения и проведения дополнительных исследований. Предлагаемые усложненные технологии на современном этапе не являются оптимальными с экономической точки зрения и зачастую не являются эффективными.

**Ключевые слова:** обезжелезивание, технологическая схема, блочно-комплектная станция, примеси подземной воды, железобактерии, упрощенная аэрация, двухступенчатое фильтрование, реагенты-окислители

were insufficient and required further study and additional research. The technologies offered today are more complex but they are not economically optimal and efficient.

**Key words:** deferrization, technological scheme, block-complete station, groundwater impurities, iron bacteria, simplified aeration, two-stage filtration, oxidising reagents

**Для цитирования:** Жулин, А. Г. Технологические схемы обезжелезивания подземных вод Тюменского региона / А. Г. Жулин, О. В. Сидоренко, Л. В. Белова. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-3-61-71. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 3 (105). – С. 61–71.

**For citation:** Zhulin, A. G., Sidorenko, O. V., & Belova, L. V. (2023). Technological schemes for deferrization of groundwater in the Tyumen region. *Architecture, Construction, Transport*, (3(105)), pp. 61-71. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-3-61-71.

## Введение

Обезжелезивание подземных вод в стране началось в конце 1960 – начале 1970-х годов. Связано это было с активными исследованиями АКХ г. Москвы метода упрощенной аэрации по устранению растворенного железа в воде. Простота метода и достижение удовлетворительных положительных результатов послужили поводом к его регламентации и внедрению типовой

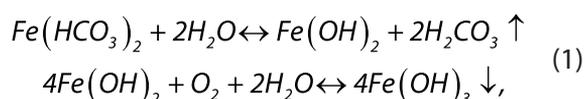
технологической схемы<sup>1,2</sup>. В то время отклонения от типовых схем не допускались.

В ряде населенных пунктов, подававших подземную воду без подготовки, с целью улучшения ситуации были построены станции, работающие на основе метода упрощенной аэрации. Большая часть станций по качественным показателям исходной воды, содержанию железа и его форм соответствовали рекомендациям типовой схе-

<sup>1</sup> Указания по проектированию установок для обезжелезивания воды / Академия строительства и архитектуры СССР ; Всесоюзный научно-исследовательский институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии «Водгео». – 2-е издание, с изменениями и дополнениями. – Москва : [б. и.]. – 1959. – 35 с. – Текст : непосредственный.

<sup>2</sup> Технические указания на проектирование и эксплуатацию станций обезжелезивания воды фильтрованием с упрощенной системой аэрации : утверждены 10.06.1965 / Министерство коммунального хозяйства РСФСР ; Академия коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова. – Москва ; Ленинград : Отдел научно-технической информации. – 1966. – 10 с. – Текст : непосредственный.

мы обработки. Она включала скорый фильтр, в котором насыщение воды кислородом для окисления железа осуществлялось путем разлива-падения воды с высоты 0.5–0.6 м. Это обеспечивало растворение кислорода в количестве не менее 5 мг/дм<sup>3</sup> (как правило, этот показатель был выше и нередко доходил до 10 мг/дм<sup>3</sup>). Так как, согласно уравнению:



для окисления 1 мг железа требуется 0.143 мг кислорода, считается, что растворившегося кислорода достаточно для окисления 10 мг/дм<sup>3</sup> железа с учетом расходования на окисление других химических соединений природной воды.

Необходимость скорого обеспечения водой разрабатываемого нефтегазового комплекса Тюменского региона обусловила внедрение на объектах блочно-комплектных установок двойного назначения *вода – тепло* [1, 2], которые работали на подземной воде. Технологическая схема включала обезжелезивание с последующим умягчением.

В связи с однотипностью установок и неучетом разнообразия качественного состава природной воды потребители в некоторых случаях получали воду с неудовлетворительными показателями.

#### **Объект и методы исследования**

Объектом исследования являются станции обезжелезивания Тюменского региона и публикации отечественных и зарубежных ученых, касающиеся технологии обезжелезивания.

Применены методы теоретического исследования, такие как анализ, синтез и обобщение. Об-

зор по изменению технологии обезжелезивания подземной воды в Тюменском регионе выполнен на основе первоисточников зарубежной, отечественной периодической и книжной литературы.

#### **Результаты и обсуждение**

Неудовлетворительные результаты работы станций обезжелезивания региона объяснялись неэффективностью процессов дегазации-аэрации (снижения содержания углекислоты), но, ввиду недостаточно жестких требований к станциям, работающим на подземных водах, нарушение ГОСТа<sup>3</sup> не отмечалось.

Ввиду повсеместного избыточного содержания углекислого газа в подземной воде региона требовалось снижение его концентрации до равновесных значений, обеспечивающих повышение величины рН с целью уменьшения коррозионных свойств и обеспечения условий по удалению растворенных примесей [3, 4]. Особую трудность в этом отношении представляют мягкие воды Севера, в которых углекислотное равновесие нестабильно [5]. Эксплуатация станций обезжелезивания в первоначальном варианте показала, что схема упрощенной аэрации не является универсальной, не учитывает отдельные характеристики воды, в частности, показатель наличия углекислоты как регулятора рН, который ранее не регламентировался ГОСТом. Влияние углекислоты не учитывалось, в то время как ее содержание составляло 40–180 мг/дм<sup>3</sup>, и для улучшения процесса обезжелезивания в дальнейшем появилась необходимость использования активных аэрационных методов дегазации-аэрации.

Удовлетворительные количественные показатели железа и снижение содержания CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> после обработки воды на градирне в г. Сургуте послужили поводом для возможного

<sup>3</sup> ГОСТ 2874-82. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством = Drinking water. Hygienic requirements and quality control : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Комитета стандартов от 18.10.82 № 3989 / разработан и внесен Министерством здравоохранения СССР ; разработчики К. И. Акулов, В. Т. Мазаев, А. А. Королев, Т. Г. Шлепнина. – Москва : ИПК Издательство стандартов. – 1982. – 10 с. – Текст : непосредственный.

использования градирен в более широком масштабе. Были предложены технические решения блочного варианта, но данные сооружения отличались громоздкостью (градирня устраивалась над контактным резервуаром и имела большую высоту), а опыт эксплуатации самих градирен (с естественной аэрацией в г. Салехарде, вентиляторной в г. Сургуте) показал необходимость частой прочистки насадки. Такой вариант получил негативную оценку производителей, поэтому для удаления значительных количеств  $\text{CO}_2$  стали приниматься барботажные или другие установки. В ряде случаев в напорном варианте была принята увеличенная подача воздуха в больших по сравнению с рекомендуемым значением 2 л на 1 г Fe, что дало положительные результаты.

Активное внедрение СанПиН<sup>4</sup> в 1990-е годы, нормативная часть которого увеличилась, а требования к качеству ужесточились, привело к тому, что практически все станции, работающие на подземной воде, не соответствовали нормам по тому или иному показателю. Это потребовало принятия нового решения по оборудованию. В настоящее время большинство станций средней и малой производительности выполнены в блочно-модульном исполнении, как правило, они отличаются объемами зданий в зависимости от принимаемого оборудования заводского исполнения.

Недостатком СанПиН является неучет природного процесса формирования реальных качественных показателей подземной воды, количественных значений влияния примесей на здоровье человека, что приводит к возможным осложнениям технологических схем, бесполезным с точки зрения строительства и эксплуатации.

То, что нормируемые показатели СанПиН необъективны, хорошо видно при сравнении с нормативными требованиями других стран –

разница в 5–10 раз (согласно ВОЗ, допустимые пределы по содержанию железа 0.3–1.0, марганца 0.1–0.5, аммонийных соединений до 10 мг/дм<sup>3</sup> и т. д.). Примером нереальности выполнения рекомендаций СанПиН служит показатель содержания кремниевых соединений в условиях Севера Тюменского региона и, главное, неучет происхождения таковых. Местные санитарно-эпидемиологические органы стали требовать выполнения нормативного значения, которое предусматривало искусственное происхождение кремния, а не естественное. В последней редакции СанПиН показатель пришлось привести в соответствие с реальностью, требования по количественному содержанию кремниевых соединений были снижены.

Ряд химических элементов природного происхождения в реально имеющихся концентрациях не представляют угрозы для здоровья человека и могут нормироваться только по влиянию на органолептические свойства воды.

В современных условиях в результате усложнения технологии очистки применение блочных установок прекращено. Необоснованное усложнение технологических схем с применением дорогостоящего оборудования заводского изготовления приводит к значительному удорожанию станций.

Многообразие методов обезжелезивания связано с физико-химическими свойствами природной воды, целевым назначением подготовки, необходимостью минимизации строительных затрат и оптимизации эксплуатационных качественных показателей. В нашем случае данный метод рассматривается с позиции улучшения качества питьевой воды в условиях региона.

Методы обезжелезивания в зависимости от частоты использования в той или иной мере подвергались исследованиям, но ввиду большого

---

<sup>4</sup> Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества : (СанПиН 2.1.4.559-96) : утверждены и введены в действие постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 24 октября 1996 г. № 26 : введены впервые. – Москва : Госкомсанэпиднадзор России. – 1996. – 111 с. – Текст : непосредственный.

числа влияющих факторов в основном приводятся результаты практической направленности отдельных объектов.

Достаточно полно в научной литературе изучено химическое окисление железа по многоступенчатой схеме с представлением расчетных коэффициентов диссоциации и значений окислительно-восстановительного потенциала системы  $Eh$  [5–9]. Однако в реальных условиях процесс обезжелезивания не протекает в чистом виде (без влияния бактерий и наличия примесей), поэтому применение в практических целях данных научных результатов минимально. На рис. 1 приведен перечень технологических схем, которые были приняты в условиях региона.

В странах бывшего СЭВ (СССР, ГДР, Польша, Чехословакия) методу упрощенной аэрации был посвящен значительный объем исследований, конечной целью которых была разработка расчетных параметров для проектирования сооружений [10].

Участие железобактерий в процессе снижения содержания железа обозначил Н. Kittner [10]. Однозначного объяснения хода совместного протекания процессов окисления железа исследователи не нашли, но отмечена роль осадка на загрузке фильтра как адсорбента кислорода, который участвует в окислении вновь поступающего двухвалентного железа, с образованием и непрерывным обновлением каталитической ад-

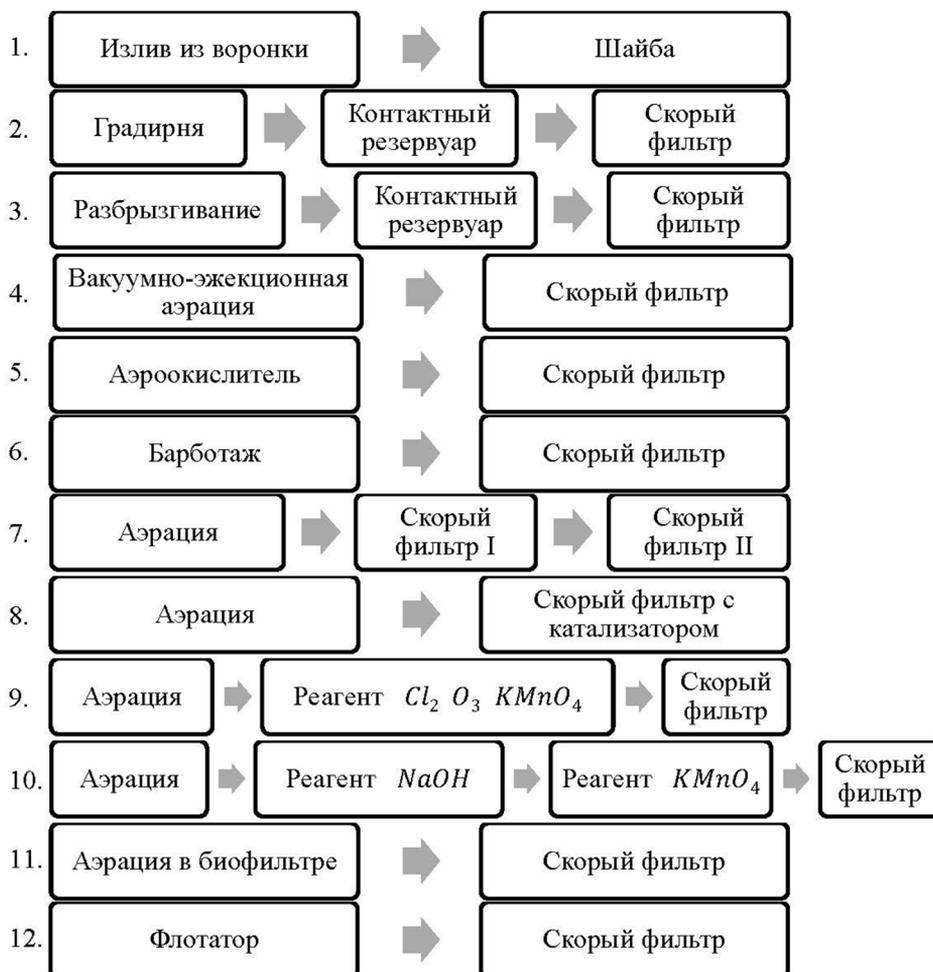


Рис. 1. Технологические схемы обезжелезивания  
Fig. 1. Technological schemes of deferrization

сорбционной пленки при наличии кислорода в воде. В дальнейшем было выявлено, что железистые отложения на загрузке являются двойным интенсификатором перехода двухвалентного железа в осадочную форму – химического и биологического процесса. Упрощенное химическое окисление под влиянием каталитического слоя описывает уравнение (1), в биологическом процессе отложения оксида железа являются питательной средой для развития бактерий [5].

Недостатком некоторых исследований можно считать проведение экспериментов с имитатами (модельными растворами), что не может служить надежным условием получения идентичных результатов, так как окисление железа в природной воде зависит от большого числа показателей (рН, окисляемости, наличия органики,  $H_2SiO_3$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$  температуры воды и др.). Относительно широко исследовано влияние температуры и органики на ход биологического окисления железа, что объясняется многообразием видов железобактерий, развивающихся при различной температуре воды (интервал значений составляет 0.5–10 °C) [11].

Расчетные выражения сложно назвать достоверными, так как процесс обезжелезивания связан не только с химическими (с большим количеством примесей), но и биологическими процессами [10, 11]. Различия в степенных значениях, необходимость определения некоторых параметров (постоянных), различные компоненты в формулах, полученных методами планирования эксперимента, свидетельствуют об отсутствии их универсальности. Как правило, они применимы для конкретных источников.

Halle K. [9] по результатам исследований предложил расчетный вид уравнения для назначения высоты слоя загрузки  $L$ , м:

$$L = a \cdot d_m \cdot V^{0.6} \cdot Fe_0^p \cdot T^{-0.4}, \quad (2)$$

где  $a$ ,  $p$  – постоянные, зависящие от отношения  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  (приведены в [12]),

$d_m$  – средний диаметр загрузки фильтра, мм,  
 $V$  – скорость фильтрования, м/ч,

$T$  – температура исходной воды, °C,

$Fe_0$  – содержание железа в исходной воде, мг/дм<sup>3</sup>.

Ожидаемая продолжительность фильтроцикла для безнапорных фильтров при содержании железа 3–10 мг/дм<sup>3</sup> и скорости фильтрования 3–10 м/ч составила:

$$T = 1\,040 \cdot d_m \cdot V^{(-0.7)} \cdot Fe^{-1.2}. \quad (3)$$

По В. А. Клячко и И. Э. Апельцину [12], для температуры подземной воды 5–7 °C с окислением  $Fe^{2+}$  до 60–70 % при упрощенной аэрации высоту слоя загрузки можно определять по упрощенной формуле:

$$L = 20 \cdot d_m \sqrt{V \cdot [Fe]}. \quad (4)$$

Kittner H. [10] приводит формулу Veltena S. для допустимой скорости фильтрования в скором фильтре, м/ч:

$$V = \left[ (3.0 \cdot pH - 18.6) \cdot \frac{1}{d_w} \cdot \frac{1}{C_{Fe_0}^{0.1}} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{C_{Fe_0}}{C_{Fe_k}}\right)} \cdot T^{0.8L} \right]^{1.28}, \quad (5)$$

где  $d_w = (d_{10} + d_{90}) / 2$  – действующий диаметр зерен, мм,

$Fe_k$  – содержание железа после фильтра, мг/дм<sup>3</sup>,

$pH$  – значение водородного показателя.

В. В. Дзюбо [13] на основании экспериментальных исследований для высоты слоя альбитофира  $H_3$ , м, предложил учитывать также структуру зерен, скорость фильтрования, рН, температуру и исходное содержание железа:

$$H_3 = \left( \frac{C_0}{C_{\text{вых}}} \right)^{0.58} \cdot \left( \frac{V^{1.12}}{a^{0.11} \cdot pH^{0.92} \cdot T^{1.02}} \right), \quad (6)$$

где  $C_0$  и  $C_{\text{вых}}$  – содержание железа  $Fe_{\text{общ}}$  в исходной воде и в фильтрате, мг/дм<sup>3</sup>,

$a = a \cdot (1 - n_0) / d_3$  – параметр, учитывающий granulometric characteristics фильтрующего материала,

$a$  – коэффициент формы зерен материала,

$d_3$  – эквивалентный диаметр зерна материала, мм,

$n_0$  – пористость загрузки,

$T$  – температура воды, °С.

Авторами предложено уравнение для расчета продолжительности фильтроцикла  $t_\phi$ , сут. (защитного действия загрузки):

$$t_\phi = \left( \frac{C_0}{C_{\text{вых}}} \right)^{-1.36} \cdot \left( \frac{1.12 \cdot 10^3 \cdot H_3^{1.86}}{a^{0.12} \cdot V^{1.24}} \cdot pH^{0.12} \cdot T^{0.11} \right). \quad (7)$$

Попытки обобщения данных исследований и опыта эксплуатации станций обезжелезивания, работающих по методу упрощенной аэрации, не дали однозначного решения – слишком велико многообразие физико-химического состава подземной воды. В предлагаемых формулах общая тенденция – наличие диаметра фракций загрузки (с довольно разнообразными значениями: средний, действующий, эквивалентный), остальные компоненты – разные, как правило, максимально влияющие на окисление железа в процессе исследований. Формулы в расчетах станций обезжелезивания не применяются и носят демонстрационный характер, проектирование сооружений осуществляется по нормативным рекомендациям.

Надежность эксплуатации станции обезжелезивания зависит от подготовки персонала и его навыков реагирования на изменение качественных показателей исходной воды в течение года. Характерным признаком некачественной эксплуатации фильтров является обволакивание зерен загрузки плотным слоем гидроксида железа с последующим изменением формы и размеров. Обычно это связано с отсутствием расходов на линии подачи промывной воды, в итоге при промывке не всегда обеспечивается необходимая интенсивность подачи, показателем таких явлений служит увеличение объема зерен загрузки и самое нежелательное – ее цементация.

Нарушения в эксплуатации фильтров ведут к сокращению фильтроцикла и повышенному содержанию примесей на выходе. Чтобы предотвратить подачу воды, не удовлетворяющей нормативным требованиям, станции обезжелезивания стали переходить на двухступенчатое фильтрование. Возможность такого перехода связана со снижением нормы водопотребления (СНиП – 250–300, СП – 180 л/сут. при фактическом расходе воды в селитебной зоне не более 110 л/сут.) [14] и некоторым уменьшением числа жителей в Среднем Приобье и на Севере.

Компания «Дегремон» [15] двухступенчатое фильтрование с аэрацией рекомендует при содержании железа свыше 5 мг/дм<sup>3</sup> и периодическом присутствии незначительного количества комплексных форм. Фильтр I ступени выступает в качестве окислителя примесей без удержания продуктов окисления (его называют контактным, окислительным или префильтром). Считается, что хлопья гидроксида не задерживаются здесь ввиду высоких скоростей, которые в полтора-два раза выше, чем на фильтрах II ступени, и фракций загрузки больших диаметров, чем в механических фильтрах II ступени.

Диаметр фильтра I ступени должен приниматься меньше, но, так как рекомендации не выдерживались и фильтры принимались одного размера, скорости фильтрования были одинаковыми. Фильтры I ступени задерживали часть окисленных примесей, в связи с этим требовалась их постоянная промывка, в то время как по технологии фильтр I ступени должен промываться один-два раза в месяц.

На основе двухступенчатой схемы предлагалась технология с катализатором – пиролюзитом или «почерненной» загрузкой, обработанной раствором перманганата калия.

Одноступенчатое фильтрование применяется при «сухой» фильтрации (пгт Пойковский), аэроокислении, вакуумно-эжекционном способе (пос. Боровский), с каталитической загрузкой и др. От «сухой» фильтрации в отечественной практике отказались, так как данный способ не дал ожидаемых результатов, таких как увеличение продолжительности фильтроцикла (работа

проходила в обычном 3-5-суточном режиме) и снижение расхода воды на промывку (по зарубежному опыту промывка предусматривалась не менее чем через полгода, но ее потребовалось проводить в соответствии с фильтроциклом). Промывка продолжалась не менее 25–35 минут с обычной интенсивностью.

В аэроокислительном способе присутствует элемент «сухой» фильтрации – окисление и удаление гидроксида осуществляется в одном сооружении устройством двухэтажной конструкции (верхний этаж – слой крупного гравия, который работает в режиме сухого фильтрования, нижний – механический фильтр).

Вакуумно-эжекционный способ сложнее в строительстве, неустойчив в эксплуатации и требует высоких затрат электроэнергии.

В 1990-е годы в большом количестве стали поступать зарубежные загрузки, обладающие каталитическими свойствами. Их единственным преимуществом была малая продолжительность зарядки загрузки в пусковой период, в процессе дальнейшей эксплуатации зерна обволакивались продуктами окисления, что приводило к отсутствию контакта окисляемых компонентов с катализатором. Высокая стоимость загрузок и необходимость проведения в некоторых случаях регенерации привели к сокращению их применения.

Реагентные методы обезжелезивания в зарубежной практике используются в большом объеме, в отдельных случаях – без достаточного обоснования и без использования аэрационных способов. В качестве реагентов применяются известь, хлор, гипохлорит натрия, двуокись хлора, перманганат калия, озон, перекись водорода и др. При обработке воды количество реагента, подаваемого на единицу удаляемого компонента, для разных объектов отличается в полтора-два раза.

В отечественной практике в 1990-е годы пропагандировалось и массово внедрялось озонирование подземной воды, но дороговизна оборудования, сложность технологической схемы и обязательное применение фильтров с активированным углем после обработки воды свело к минимуму использование метода.

Многочисленные исследования и рекомендации по окислению примесей хлорированием не нашли применения из-за необходимости использования контактного резервуара на 30-минутную продолжительность, дозирования реагента до точки перелома для окисления примесей и последующего устранения избытка хлора.

В последние годы на Севере региона внедрены сложные в эксплуатации реагентные технологии – с перманганатом калия и подщелачиванием едким натрием, в обычном варианте очищенная вода требует стабилизационной обработки [16]. Недостатком реагентных методов является необходимость в некоторых случаях осуществлять коагулирование продуктов окисления.

### **Выводы**

Проведенные теоретические исследования и анализ отечественных и зарубежных публикаций относительно опыта эксплуатации станций обезжелезивания позволил сделать ряд выводов:

1. Расчетные математические зависимости, полученные на основе экспериментальных данных различных авторов, по назначению конструктивных параметров фильтров обезжелезивания не всегда соответствуют реальным качественным показателям воды, так как некоторые исследования были проведены в лабораторных условиях и выполнены на имитатах.
2. Установлено, что при использовании безреагентных методов обезжелезивания не учитывается участие железобактерий в окислении железа.
3. Выбор схемы обезжелезивания следует осуществлять после проведения технологических натурных исследований непосредственно у источника.
4. Отмечается необоснованное снижение популярности метода обезжелезивания с упрощенной аэрацией в связи с ужесточением нормативных требований СанПиН и внедрением более дорогостоящих технологий.
5. С целью обезжелезивания стали чаще применять реагентные методы с недостаточным их обоснованием.

### Библиографический список

1. Жулин, А. Г. Выбор технологической схемы очистки подземных вод в районе Среднего Приобья / А. Г. Жулин, Б. Я. Белецкий, С. В. Максимова. – Текст : непосредственный // Нефтяная промышленность. Экспресс-информация: отечественный опыт. Серия: Нефтепромысловое дело. – 1987. – № 1. – С. 12–16.
2. Опыт эксплуатации станции обезжелезивания в комплектно-блочном исполнении / А. Г. Жулин, Б. Я. Белецкий, С. В. Максимова, Ю. В. Санников. – Текст : непосредственный // Нефтяная промышленность. Экспресс-информация: отечественный опыт. Серия: Нефтепромысловое дело. – 1987. – № 12. – С. 4–8.
3. Дзюбо, В. В. Ресурсы подземных вод Западно-Сибирского региона и их значимость для водоснабжения населения / В. В. Дзюбо, Л. И. Алферова. – Текст : непосредственный // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2013. – № 2 (62). – С. 12–20.
4. Глазков, Д. В. Очистка подземных вод нефтегазоносных районов Западной Сибири от газовых примесей : специальность 12.11.01 : автореферат диссертации кандидата технических наук / Д. В. Глазков ; Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск, 2001. – 20 с. – Текст : непосредственный.
5. Николадзе, Г. И. Улучшение качества подземных вод / Г. И. Николадзе. – Москва : Стройиздат, 1987. – 239 с. – Текст : непосредственный.
6. Holluta, J. Enteisungsgeschwindigkeit und Wasserstoffionenkonzentration / J. Holluta. – Текст : непосредственный // Jahrbuch "Vom Wasser". – 1952. – XIX Band. – S. 259–268.
7. Золотова, Е. Ф. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода / Е. Ф. Золотова, Г. Ю. Асс. – Москва : Стройиздат, 1975. – 175 с. – Текст : непосредственный.
8. Stumm, W. Oxydation of Ferrous Iron / W. Stumm, G. Fred Lee. – Текст : непосредственный // Industrial and Engineering Chemistry. – 1961. – Vol. 53, No 2. – P. 143–146.
9. Halle, K. Beitrag zur Filtration eisen haltiger Grundwasser / K. Halle. – Текст : непосредственный // Wasserwirtschaft und Technik. – 1964. – No 12. – S. 361–365.
10. Kittner, H. Die Bemessung von Enteisungsfilttern / H. Kittner. – Текст : непосредственный // Wasserwirtschaft und Technik. – 1968. – No 6. – S. 190–195.
11. Седлухо, Ю. П. Влияние аэрационно-дегазационных процессов на свойства подземных вод и технологии их биологического обезжелезивания и деманганации / Ю. П. Седлухо. – Текст : электронный // Polimer Construction : сайт. – 24 апреля 2018. – URL: <https://polymercon.com/press-centr/publications/113-vliyanie-aeracionno-degazacionnyx-processov-na-svojstva-podzemnyx-vod-i-technologii-ix/> (дата обращения: 02.08.2023).
12. Клячко, В. А. Очистка природных вод / В. А. Клячко, И. Э. Апельцин. – Москва : Стройиздат, 1971. – 579 с. – Текст : непосредственный.
13. Дзюбо, В. В. Подготовка подземных вод для питьевого водоснабжения малых населенных пунктов Западно-Сибирского региона : специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Дзюбо Владимир Васильевич. – Санкт-Петербург, 2007. – 36 с. – Текст : непосредственный.
14. Жулин, А. Г. Определение количества расходуемой воды различными водопотребителями жилого сектора / А. Г. Жулин, А. Х. Аминова, Л. В. Белова. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 1 (95). – С. 47–57.
15. Технические записки по проблемам воды : справочник. В 2 т. Т. 2 / К. Бараке, Ж. Бебен, Ж. Бернар [и др.] ; пер. с английского ; под редакцией Т. А. Карюхиной, И. Н. Чурбановой. – Москва : Стройиздат, 1983. – С. 609–1064. – Текст : непосредственный.

16. Селюков, А. В. Обезжелезивание-деманганация подземных вод водозабора «Северный» г. Ханты-Мансийска / А. В. Селюков, И. С. Байкова. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 2. – С. 15–18.

### References

1. Zhulin, A. G., Beletskiy, B. Ya., & Maksimova, S. V. (1987). Vybor tekhnologicheskoy skhemy ochistki podzemnykh vod v rayone Srednego Priob'ya. Neftyanaya promyshlennost'. Ekspress-informatsiya: otechestvennyy opyt. Seriya: Neftepromyslovoe delo, (1), pp. 12-16. (In Russian).
2. Zhulin, A. G., Beletskiy, B. Ya., Maksimova, S. V., & Sannikov, Yu. V. (1987). Opyt ekspluatatsii stantsii obezhelezivaniya v komplektno-blochnom ispolnenii. Neftyanaya promyshlennost'. Ekspress-informatsiya: otechestvennyy opyt. Seriya: Neftepromyslovoe delo, (12), pp. 4-8. (In Russian).
3. Dzyubo, V. V., & Alferova, L. I. (2013). Resursy podzemnykh vod Zapadno-Sibirskogo regiona i ikh znachimost' dlya vodosnabzheniya naseleniya. Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie, (2(62)), pp. 12-20. (In Russian).
4. Glazkov, D. V. (2001). Ochistka podzemnykh vod neftegazonosnykh rayonov Zapadnoy Sibiri ot gazovykh primesey. Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Novosibirsk, 20 p. (In Russian).
5. Nikoladze, G. I. (1987). Uluchshenie kachestva podzemnykh vod. Moscow, Stroyizdat Publ., 239 p. (In Russian).
6. Holluta, J. (1952). Deferrisation speed and hydrogen ion concentration [Enteisungsgeschwindigkeit und Wasserstoffionenkonzentration]. Yearbook "About water" [Jahrbuch "Vom Wasser"], (XIX), pp. 259-268. (In German).
7. Zolotova, E. F. (1975). Ochistka vody ot zheleza, margantsa, ftora i serovodoroda. Moscow, Stroyizdat Publ., 175 p. (In Russian).
8. Stumm, W., & Fred Lee, G. (1961). Oxydation of ferrous iron. Industrial and Engineering Chemistry, 53(2), pp. 143-146. (In English).
9. Halle, K. (1964). Contribution to the filtration of iron-containing groundwater [Beitrag zur Filtration eisen haltiger Grundwasser]. Water management and technology [Wasserwirtschaft und Technik], (12), pp. 361-365. (In German).
10. Kittner, H. (1968). The dimensioning of deferrisation filters [Die Bemessung von Enteisungsfilttern]. Water management and technology [Wasserwirtschaft und Technik], (6), pp. 190-195. (In German).
11. Sedlukho, Yu. P. (2018). Vliyanie aeratsionno-degazatsionnykh protsessov na svoystva podzemnykh vod i tekhnologii ikh biologicheskogo obezhelezivaniya i demanganatsii. Polimer Construction. Available at: <https://polymercon.com/press-centr/publications/113-vliyanie-aeracionno-degazacionnykh-processov-na-svoystva-podzemnykh-vod-i-tekhnologii-ix/> (accessed 02.08.2023).
12. Klyachko, V. A., & Apel'tsin, I. E. (1971). Ochistka prirodnykh vod. Moscow, Stroyizdat Publ., 579 p. (In Russian).
13. Dzyubo, V. V. (2007). Podgotovka podzemnykh vod dlya pit'evogo vodosnabzheniya malyykh naselennykh punktov Zapadno-Sibirskogo regiona Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Saint Petersburg, 36 p. (In Russian).
14. Zhulin, A. G., Aminova, A. Kh., & Belova, L. V. (2021). Determination of the amount of water consumed by various water users of the residential sector. Architecture, Construction, Transport, (1), pp. 47-57. (In Russian).
15. Barake, K., Beben, Zh., Bernar, Zh., Berne, F., Bushar, Zh. Burginya, D., ... Tishit, A. (1983). Tekhnicheskie zapiski po problemam vody. Moscow, Stroyizdat Publ., 2, pp. 609-1064. (In Russian).

16. Selyukov, A. V., & Baikova, I. S. (2012). Deironing-demanganation of ground waters at the Severny intake facilities of Khanty-Mansiysk. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika*, (2), pp. 15-18. (In Russian).

#### **Сведения об авторах**

Жулин Александр Гаврилович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: zhulinag@tyuiu.ru

Сидоренко Ольга Владимировна, канд. техн. наук, доцент, заведующая кафедрой инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: sidorenkoov@tyuiu.ru

Белова Лариса Владимировна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры инженерных систем и сооружений, заведующая кафедрой начертательной геометрии и графики, Тюменский индустриальный университет, e-mail: beloalv@tyuiu.ru

#### **Information about the authors**

Alexander G. Zhulin, Candidate in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: zhulinag@tyuiu.ru

Olga V. Sidorenko, Candidate in Engineering, Associate Professor, Head at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: sidorenkoov@tyuiu.ru

Larisa V. Belova, Candidate in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Head at the Department of Descriptive Geometry and Graphics, Industrial University of Tyumen, e-mail: beloalv@tyuiu.ru

*Получена 23 августа 2023 г., одобрена 18 сентября 2023 г., принята к публикации 28 сентября 2023 г.  
Received 23 August 2023, Approved 18 September 2023, Accepted for publication 28 September 2023*