

---

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ  
ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ,  
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.  
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
СТРОИТЕЛЬСТВА**

---

**LIFE MAINTENANCE ENGINEERING SYSTEMS  
OF THE INHABITED LOCALITIES,  
BUILDINGS AND STRUCTURES.  
ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION**

Известия вузов. Строительство. 2023. № 2. С. 44–55.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2023; (2): 44–55.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 628.16.081

DOI: 10.32683/0536-1052-2023-770-2-44-55

**ПОДГОТОВКА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ  
ИЗ ПОДЗЕМНОГО ИСТОЧНИКА  
С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА**

Евгений Леонидович Войтов<sup>1</sup>, Юрий Леонидович Сколубович<sup>1</sup>,  
Вячеслав Михайлович Майков<sup>2</sup>, Павел Вячеславович Шведков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин), Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>ЗАО «Роса», Новосибирск, Россия

**Аннотация.** При очистке подземных вод от соединений железа и марганца эффективно применение технического гипохлорита натрия в качестве реагента-окислителя. Однако его применение ограничивается относительно высокой стоимостью доставки товарного продукта в отдаленные районы Крайнего Севера и Сибирского региона. Целью данной работы являлось проведение экспериментальных исследований и разработка технологической схемы подготовки питьевой воды для водоснабжения малых населенных мест Западной Сибири с применением экономически и технологически более эффективного низкоконцентрированного гипохлорита натрия, изготавливаемого путем прямого электролиза непосредственно на месте его потребления. Исследования проведены на экспериментальной установке по очистке природной подземной воды из скважин в с. Верх-Тула Новосибирской области. Разработана технологическая схема водоподготовки для питьевого водоснабжения поселка, включающая новое оборудование, материалы и реагенты, с повторным использованием промывных сточных вод и утилизацией водопроводного осадка.

**Ключевые слова:** обезжелезивание, деманганация, подземные воды, гуминовые комплексы, твердые осадки, окислители, перманганат калия, гипохлорит натрия, каустик, осветительные фильтры, ионообменные фильтры, Диамикс, фильтроцикл, стехиометрия

**Для цитирования:** Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л., Майков В.М., Шведков П.В. Подготовка питьевой воды из подземного источника с повышенным содержанием железа и марганца // Известия вузов. Строительство. 2023. № 2. С. 44–55. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-770-2-44-55.

Original article

## **PREPARATION OF DRINKING WATER FROM AN UNDERGROUND SOURCE WITH INCREASED IRON AND MANGANESE CONTENT**

**Evgeniy L. Voytov<sup>1</sup>, Yuriy L. Scolubovich<sup>1</sup>, Vyacheslav M. Maykov<sup>2</sup>,  
Pavel V. Shvedkov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),  
Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>ZAO “ROSA”, Novosibirsk, Russia

**Abstract.** When cleaning groundwater from iron and manganese compounds, it is effective to use technical sodium hypochlorite as an oxidizing agent. However, the use of sodium hypochlorite is limited by the relatively high cost of delivering its marketable product to remote areas of the Far North and the Siberian region. The purpose of this work was to conduct experimental studies and develop a technological scheme for the preparation of drinking water for water supply to small settlements in Western Siberia using an economically and technologically more efficient low-concentration sodium hypochlorite, manufactured by direct electrolysis directly at the place of its consumption. The studies were carried out at an experimental facility in the village of Verkh-Tula, Novosibirsk Region, for the purification of natural underground water from wells. As a result of the research, a new technological scheme for water treatment for the drinking water supply of the village was developed, including new equipment, materials and reagents, with the reuse of rinsing wastewater and the disposal of plumbing sludge.

**Keywords:** iron removal, demanganation, groundwater, humic complexes, solid sediments, oxidizing agents, potassium permanganate, sodium hypochlorite, caustic, clarifying filters, ion-exchange filters, Diamix, filter cycle, stoichiometry

**For citation:** Voytov E.L., Scolubovich Yu.L., Maykov V.M., Shvedkov P.V. Preparation of drinking water from an underground source with increased iron and manganese content. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2023; (2): 44–55. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2023-770-2-44-55.

**Введение.** В качестве реагента-окислителя при очистке подземных вод от железа и марганца эффективно применение технического гипохлорита натрия ( $\text{NaClO}$ ) (ГХН). Предварительная аэрация и реагентная обработка воды ГХН с последующим фильтрованием на осветительных фильтрах, загруженных Диамиксом, обеспечивают высокое качество ее очистки, отвечающее требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01<sup>1</sup>.

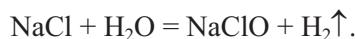
---

<sup>1</sup> СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества / Минздрав РФ // Постановление № 24 от 26.09.2001 г.

Технический гипохлорит натрия изготавливают для станций большой производительности на предприятиях химической промышленности химическим путем



или электрохимическим методом



Гипохлорит натрия обладает рядом свойств, ценных в техническом отношении. Его водные растворы не имеют взвесей и поэтому не нуждаются в отстаивании, например, в противоположность хлорной извести. Применение гипохлорита натрия для обработки воды не вызывает увеличения ее жесткости, так как он не содержит солей кальция и магния как хлорная известь или гипохлорит кальция. Бактерицидный эффект раствора  $\text{NaClO}$ , полученного электролизом, выше, чем у других дезинфектантов, действующим началом которых является активный хлор. К тому же он обладает еще большим окислительным действием, чем растворы, приготовленные химическим методом, из-за более высокого содержания хлорноватистой кислоты.

Кроме того, технический (товарный) ГХН имеет 3-й класс опасности и более безопасен чем традиционный жидкий хлор (2-й класс опасности). Высококонцентрированный раствор гипохлорита натрия марки А с высоким значением и содержанием активного хлора 14–18 % производится на химических заводах и доставляется объектам водоснабжения специальным транспортом. На месте потребления он разбавляется водой до состояния наименьшей скорости разложения (до 10%-й концентрации) и с той же целью хранится в помещениях с поддерживаемой температурой воздуха  $10\pm 5$  °C в резервуарах, обеспечивающих его 15-суточный запас.

Однако раствор технического ГХН имеет склонность терять свои окислительные свойства. Уже в течение первых десяти суток потери активного хлора в растворе достигают 10–30 %, что существенно ухудшает его обеззаржающие способности. Оптимальным решением является получение низкоконцентрированного (6–8 г/л) гипохлорита натрия непосредственно на объекте водоподготовки с применением электролизных установок различных типов. Такой ГХН (марки Э) наиболее безопасен и малотоксичен (4-й класс опасности), прост в эксплуатации, получается на месте потребления в электролизерах и обеспечивает независимость от поставщиков [1]. Обязательный 15-суточный запас требует не готовый продукт, а сырье, из которого он производится, т.е. поваренная соль, хранение которой на складе не сопровождается экологическими, санитарно-гигиеническими, террористическими и другими рисками, присущими привозному высококонцентрированному ГХН. Он также имеет более низкую стоимость (так, отпускная цена технического ГХН марки А, производимого в Волгограде ОАО «Каустик», составляет 18 880 руб./м<sup>3</sup>, или 126 руб. в пересчете на 1 кг эквивалентного хлора против 30 руб./кг низкоконцентрированного ГХН) [2].

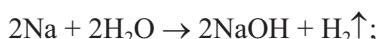
Суммарная стоимость получения раствора электрохимического гипохлорита натрия складывается из затрат на поваренную соль и электрическую энергию. При этом для получения 1 кг активного хлора современные зару-

бежные электролизные установки потребляют в среднем 4–5 кг поваренной соли и 4–5 кВт·ч электроэнергии [3].

ГХН марки Э разлагается медленно благодаря низкой исходной концентрации. Относительно невысокое значение pH (9,0–9,2 ед.) раствора ГХН сводит проблему накипи (образования) до минимума [4], а в ряде случаев даже дает экономию затрат на реагенты для регулирования pH раствора (стабилизационная обработка воды в схеме ее очистки кислыми коагулянтами). В электролизерах электрический ток пропускается через водный раствор хлорида натрия (2,5–3,5 % по NaCl) и происходит его электролитическое разложение с образованием ГХН и газообразного водорода.

При прямом электролизе раствора хлорида натрия протекают следующие реакции:

на катоде



на аноде



Получающийся в результате реакции гидроксид натрия взаимодействует с хлорной и хлорноватистой кислотами, образуя соответственно хлорид и гипохлорит натрия. Суммарную реакцию можно записать следующим образом



Помимо основной электрохимической реакции и на катоде, и на аноде электролизера протекают побочные реакции. В результате этих побочных реакций сильно возрастает содержание растворенного хлора, кислорода, снижается концентрация водорода, азота, изменяется физико-химическая структура воды. К устойчивым продуктам анодных электрохимических реакций относится серная, соляная и азотная кислоты. Последняя образуется из примесей нитратов щелочных и щелочно-земельных металлов. К нестабильным соединениям, обладающим большой окислительной силой, относятся пероксид водорода, хлорноватистая, хлористая, хлорноватая, хлорная, надсерные кислоты, пероксосульфаты, пероксокарбонаты, перхлораты натрия и калия, оксиды хлора и промежуточные соединения самопроизвольного распада названных веществ. Механизм их действия при обеззараживании воды до конца не выяснен, однако считается, что физико-химическую активность анолита и католита обусловливают следующие факторы:

1. Образование высокоактивных неустойчивых (метастабильных) продуктов электрохимических реакций, время жизни которых ограничено несколькими часами. Они значительно усиливают проявление кислотных, окислительных, щелочных и восстановительных свойств анолита и католита. Получить их в воде путем растворения химических реагентов, как правило, невозможно.

2. Возникновение и существование в течение некоторого времени диссипативных структур, сформированных в области объемного заряда на поверхности электродов как свободных, так и в виде гидратных оболочек ионов,

молекул, радикалов, атомов. Это придает анолиту и католиту свойства катализатора самых различных химических реакций, в том числе биохимических, так как способствует изменению активационных энергетических барьеров между взаимодействующими частицами.

Таким образом, бактерицидный эффект раствора NaClO, полученного электролизом, выше, чем у других дезинфектантов, действующим началом которых является активный хлор. Кроме того, он обладает еще большим окислительным действием, чем растворы, приготовленные химическим методом, в том числе технический ГХН, из-за более высокого содержания хлорноватистой кислоты<sup>2</sup>. Выделяющийся при электролизе газообразный водород обычно разбавляют воздухом до взрывобезопасной концентрации (1 % объема) и отводят в атмосферу.

Основной проблемой производства ГХН является образование нерастворимых соединений кальция и магния на поверхности катода электролизера, которые при длительном электролизе блокируют поверхность электрода, препятствуя протеканию обрабатываемого раствора в межэлектродном пространстве и приводят к аварийным ситуациям. Поэтому актуальным направлением является уменьшение образования осадков на электродах электрохимических аппаратов, производящих ГХН, например, применение реверсивного тока. Под реверсивным током понимают такой постоянный ток, полярность которого периодически изменяется по заданному закону, электрохимический процесс при этом не прерывается. Это позволяет сократить длительность процесса, улучшить качество металлического осадка, увеличить плотность тока и снизить концентрацию положительно активных веществ в электролите [5].

Согласно ГОСТ Р 51232–98<sup>3</sup> содержание остаточного свободного хлора в воде после резервуаров чистой воды должно быть в пределах 0,5 мг/л. Однако концентрация хлора в результате подготовки питьевой воды из подземных источников с применением ГХН может превышать нормативную величину и необходимо ее дехлорировать.

Наиболее простым и эффективным процессом удаления хлора является пропускание потока очищаемой воды через фильтр с засыпкой из активированного угля. На поверхности зерен угольного наполнителя происходит расщепление хлора на соляную и хлорноватистую кислоты. Последняя в свою очередь разлагается с образованием кислородных соединений, связанных с поверхностью зерен наполнителя, и соляной кислоты. В процессе эксплуатации эффективность угольного фильтра постепенно уменьшается. Это вызвано адсорбцией на активной поверхности продуктов реакции и механическим заполнением пор и каналов осадком в загрузке в ходе процесса фильтрации.

Восстановление сорбционной способности угольного фильтра возможно при проведении периодической регенерации. Она выполняется обратной промывкой фильтрующего слоя горячим раствором щелочи и гипохлорита

<sup>2</sup> Черкасов С.В. Гипохлорит натрия. Процесс получения // Библиотека. Мировые водные технологии. [www.tec>index.php?id=181](#)

<sup>3</sup> Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 51232–98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества» (принят постановлением Госстандарта РФ от 17 декабря 1998 г. N 449).

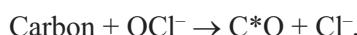
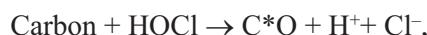
кальция в течение 30–45 мин. Предварительно желательно выполнить противоточную промывку водой. Она разрыхляет слежавшиеся слои засыпки и производит удаление механически отфильтрованных частиц.

Проведение полноценной регенерации фильтров малой производительности нецелесообразно. Поэтому ограничиваются противоточной промывкой. Восстановление работоспособности промышленных фильтров очистки от хлора может производиться как частично (промывкой водой), так и более глубоким методом (промывкой раствором щелочи и гипохлорита кальция).

Полная регенерация выполняется заменой фильтрующей загрузки и прокаливанием отработанной партии в термопечах при температуре 800–900 °С. Из достоинств, характерных для дехлорирования с использованием активированных углей, следует отметить:

- простоту технологической реализации процесса;
- возможность полной автоматизации работы;
- использование стандартизированного оборудования;
- отсутствие необходимости применения дорогих реагентов;
- возможность обрабатывать воды с высокими концентрациями остаточного хлора.

Дехлорирование происходит за счет разложения образовавшейся хлорноватистой кислоты на поверхности активированного угля. Быстропротекающие реакции гидролитического расщепления хлора приведены ниже:



где Carbon – связанный углерод; C\*O – поверхностное кислородное соединение. Реакция на активированном угле протекает достаточно быстро<sup>4</sup>.

Для снижения повышенного содержания в очищенной воде солей жесткости после осветительных фильтров технологическая схема очистки должна быть дополнена ионообменными умягчительными фильтрами.

Хлорирование показывает высокий эффект против болезнетворных бактерий. Однако необходима дополнительная защита от споровых и хлорустойчивых форм бактерий и вирусов с использованием на конечном этапе очистки ультрафиолетового излучения<sup>5</sup>. Комбинирование методов хлорирования и ультрафиолетового излучения очень эффективно.

**Результаты исследований.** Экспериментальные исследования по разработке технологии подготовки питьевой воды из подземного источника с повышенным содержанием железа и марганца проведены на станции водоочистки с. Верх-Тула Новосибирской области.

Отбор проб обрабатываемой воды в процессе водоочистки производился не реже 1 раза в час. Анализ проб воды осуществлялся с помощью спектро-

<sup>4</sup> Удаление хлора и хлорамина на активированном угле. Компания “AquaBoss”. Системы водоочистки и водоподготовки, фильтры для воды. <https://aquaboss.ru/poleznye-stati/udalenie-hlora-i-hloramina-na-aktivirovannom-ugle.html>

<sup>5</sup> Справочник перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса, и учетом оценки риска здоровью населения. М.: Минстрой РФ, 2019. 74 с.

фотометра DR/2500 “ODYSSEY” компании “Hach Lange” (г. Дюссельдорф). Ежечасные экспресс-анализы pH и концентрации хлора в воде производились с помощью тест-прибора для бассейнов Pooltest hth ARCH AMBOISE и тест-комплекта «Общая жесткость» ЗАО «Кристмас+» (г. Санкт-Петербург).

В качестве источника водоснабжения использовались скважины с повышенным содержанием железа, марганца и солей жесткости в воде. Производительность существующей станции водоподготовки составляла более 2 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Она не обеспечивала водоподготовку подземной воды скважин села до нормативного качества по содержанию железа и марганца. Концентрация железа в исходной воде составляла до 2,5 мг/л, марганца до 0,65 мг/л, что в 7–8 раз превышало предельно допустимую концентрацию (ПДК). Кроме того, наблюдалось некоторое превышение величины общей жесткости в воде<sup>1</sup>.

Технология очистки заключалась в предварительной напорной аэрации воды, окислительной обработке перманганатом калия, 2-ступенчатом фильтровании и обеззараживании техническим гипохлоритом натрия.

На станции имелись трудности с приготовлением и дозированием рабочего раствора перманганата калия, а также существовала проблема образования и отложения черного осадка нерастворимых соединений марганца в трубопроводах и арматуре. С учетом дополнительных факторов высокой стоимости и дефицитности перманганата калия службой эксплуатации было решено отказаться от его применения.

Авторами на основании ранее проведенных исследований [6] была рассмотрена возможность применения в качестве окислительных агентов технического и электролитического ГХН. Фото и схема экспериментальной установки станции водоочистки с. Верх-Тула представлены на рис. 1 и 2.

Подземная вода из скважины подавалась по трубопроводу 15 через водосчетчик 1 в контактный бак 2. В контактный бак поступал также дозированным расходом раствор технического или электролитического ГХН.



*Rис. 1. Фото экспериментальной установки*

*Fig. 1. Photo of the experimental setup*

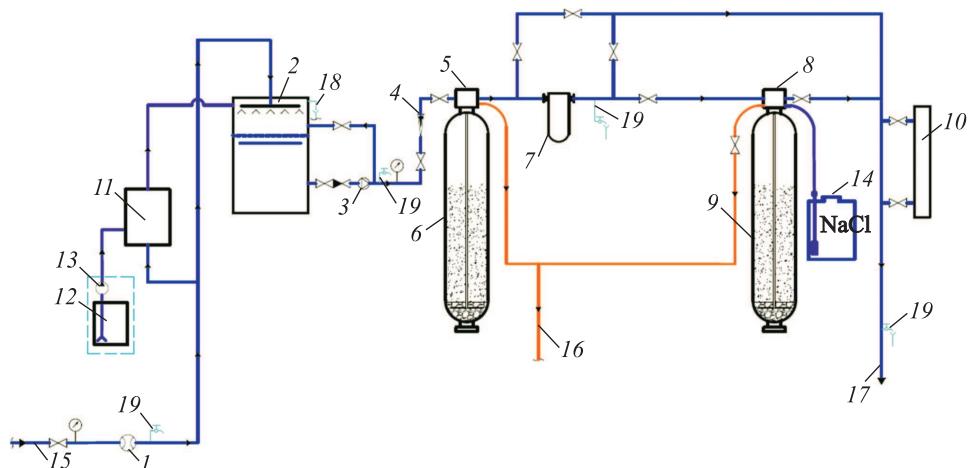


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

1 – водомер; 2 – контактный резервуар; 3 – подкачивающий насос; 4 – ротаметр; 5 – ручной клапан управления работой фильтра; 6 – скорый фильтр; 7 – катриджный угольный фильтр; 8 – автоматический клапан управления; 9 – умягчительный фильтр; 10 – блок ультрафиолетового обеззараживания; 11 – электролитическая установка; 12 – расходный бак; 13 – дозировочный насос; 14 – солевой бак NaCl; 15 – подача исходной подземной воды; 16 – сброс отработанной промывной воды; 17 – отведение очищенной воды; 18 – перелив; 19 – пробоотборники

Fig. 2. Scheme of the experimental setup

1 – water meter; 2 – contact tank; 3 – booster pump; 4 – rotameter; 5 – manual filter control valve; 6 – fast filter; 7 – cartridge charcoal filter; 8 – automatic control valve; 9 – softening filter; 10 – ultraviolet disinfection unit; 11 – electrolytic installation; 12 – supply tank; 13 – dosing pump; 14 – NaCl salt tank; 15 – supply of initial underground water; 16 – discharge of waste wash water; 17 – removal of purified water; 18 – overflow; 19 – samplers

В первой серии опытов рабочий 5%-й раствор технического гипохлорита натрия приготавливается в расходном баке 12 и подавался в контактный бак 2 насосом-дозатором 13 без электролиза. Во второй серии опытов на байпасной линии от подающего трубопровода входящей исходной воды была установлена электролитическая установка прямого действия 11. Расход по этой линии отрегулирован на 10–15 % от общего расхода подаваемой подземной воды.

В расходном баке 12 электролитической установки приготавливается 10%-й рабочий раствор хлорида натрия. Дозированная подача раствора соли на установку 11 осуществлялась с помощью дозировочного насоса 13. Получаемый путем электролиза поваренной соли раствор низкоконцентрированного электрохимического гипохлорита натрия с содержанием активной части около 6 г/л поступал в контактный бак 2. Из бака 2 хлорированная вода с помощью насоса 3 направлялась в скорый фильтр 6, загруженный фильтрующим материалом Диамикс-аква фракции 0,8–2 мм. Обратная промывка скорого фильтра осуществлялась исходной водой, подаваемой из скважины.

Для снижения содержания остаточного хлора после осветления воды на фильтре 6 до питьевой нормы в схему был включен катриджный угольный фильтр 7. В связи с сезонным увеличением жесткости сверх норматива в технологии очистки предусматривался умягчительный фильтр 9. Для оконча-

тельного обеззараживания воды перед подачей потребителю установка была снабжена блоком ультрафиолетового обеззараживания 10.

Лучшие результаты получены при использовании в качестве реагента-окислителя электролитического гипохлорита натрия, который позволял достичь нормативного качества очищенной воды при более низких дозах по содержанию активного свободного хлора. Кроме того, сравнительный технико-экономический расчет показал, что стоимость водоподготовки с применением электролитического ГХН, изготовленного на станции, в несколько раз ниже подготовки питьевой воды с использованием привозного технического гипохлорита натрия.

В связи с вышеизложенным для водоочистной станции принята технология подготовки питьевой воды из подземного источника с применением электролитического ГХН, изготавливаемого на месте его потребления на водоочистных сооружениях. Суточные средние показатели качества очищаемой подземной воды при использовании электролитического гипохлорита натрия на экспериментальной установке представлены в таблице.

В результате экспериментальных работ установлено:

1. За период исследований наблюдалось более чем 7-кратное превышение ПДК по содержанию железа и 6-кратное превышение ПДК по марганцу в исходной подземной воде.

2. В результате экспериментальных работ на опытной установке достигнуто качество очищенной воды, отвечающее СанПиН 2.1.4.1074-01.

3. Обработка подземной воды электролитическим низкоконцентрированным гипохлоритом натрия дозой 2–4 мг/л по содержанию активного хлора с временем контакта 0,3 ч обеспечивала окисление в ней железа и марганца.

4. Образующиеся нерастворимые в хлорированной воде соединения железа и марганца выделялись на скором осветлителе фильтре, загруженном новым фильтрующим материалом Диамикс с крупностью фракций 0,8–2,0 мм и высотой слоя 0,6 м при скорости фильтрования 12 м/ч. Промывка осветлительного фильтра производилась очищенной водой с интенсивностью 7 л/(с·м<sup>2</sup>) в течение 10 мин.

5. Для снижения содержания остаточного хлора в воде после ее осветления на скором фильтре до питьевой нормы (0,3–0,5 мг/л) в схему включался сорбционный угольный фильтр с загрузкой АК-47 фракции 0,4–1,7 мм

#### **Показатели качества очищаемой подземной воды**

#### **Indicators of the quality of treated groundwater**

Точки отбора проб	Fe <sub>общ</sub> , мг/л	Mn, мг/л	Ж <sub>общ</sub> , ммоль/л	pH	Активный хлор, мг/л
Исходная (скважина)	2,30	0,63	7,2	7,4	0,0
После контактного бака	0,30	0,62	7,2	8,2	3,0
После скорого фильтра	0,10	0,50	7,0	8,1	1,5
После угольного фильтра	0,05	0,05	6,8	8,1	0,3

Причина. Реагент-окислитель: гипохлорит натрия,  $D_{NaClO} = 2$  мг/л. Продолжительность фильтроцикла 24 ч. Согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 ПДК железа в воде составляет 0,30 мг/л, марганца – 0,10 мг/л.

с высотой слоя 0,6 м, скоростью фильтрования 12 м/ч, скоростью обратной водяной промывки 24–29 м/ч.

6. Величина общей жесткости очищенной воды находилась в пределах ПДК (до 7,0 мг-экв./л). Однако в связи с возможным сезонным увеличением жесткости сверх норматива в технологии очистки предусматривался умягчительный фильтр, загруженный катионитом КУ-2-8ЧС.

7. Для окончательного обеззараживания воды перед подачей потребителю установка была снабжена блоком ультрафиолетового обеззараживания.

8. Продолжительность фильтроцикла при скоростях скорого фильтрования 8–10 м/ч превышала двое суток. Однако согласно правилам эксплуатации станций водоподготовки подземных вод, для поддержания санитарного состояния загрузок фильтров продолжительность фильтроцикла ограничивалась двумя сутками<sup>6</sup>.

9. Выполнено технико-экономическое сравнение вариантов водоподготовки для станции с. Верх-Тула производительностью 2000 м<sup>3</sup>/сут. Эксплуатационные затраты водоподготовки с применением электролитического ГХН, изготовленного на станции, в 8 раз ниже затрат подготовки питьевой воды с использованием привозного технического гипохлорита натрия.

**Выводы и рекомендации.** 1. На основании экспериментальных исследований разработана высокоэффективная технологическая схема подготовки питьевой воды для малых населенных мест Сибири из подземных источников с высоким содержанием железа и марганца с помощью низкоконцентрированного электролитического ГХН, изготавливаемого прямым электролизом на месте его потребления на водоочистных сооружениях.

2. Образующиеся при окислении хлором нерастворимые соединения железа и марганца выделяются на скорых осветлительных фильтрах, загруженных гранулированным фильтрующим материалом Диамикс с крупностью фракций 0,8–2,0 мм. Скорость фильтрования до 12 м/ч, продолжительность фильтроцикла до 2 сут. Обратная промывка осветлительных фильтров производится очищенной водой с интенсивностью 7 л/(с·м<sup>2</sup>) в течение 10 мин.

3. Для снижения содержания остаточного хлора после осветления воды на скорых фильтрах до питьевой нормы в схему включаются сорбционные угольные фильтры с загрузкой фракции 0,5–2 мм. Скорость фильтрования 12 м/ч, продолжительность фильтроцикла – до 7 сут. Промывка угольных фильтров производится очищенной водой с интенсивностью 7 л/(с·м<sup>2</sup>) в течение 10 мин.

4. В связи с возможным сезонным увеличением жесткости сверх норматива в технологии очистки предусматривается умягчительный фильтр, загруженный катионитом.

5. Для окончательного обеззараживания воды перед подачей потребителю технологическая схема оборудуется блоком ультрафиолетового обеззараживания.

---

<sup>6</sup> Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации / Госкомитет РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу. М.: Союзводоканалпроект, 2000.

6. Отработанная грязная промывная вода подвергается реагентной обработке, отстаиванию в течение 1 ч, фильтруется и постепенно перекачивается в контактные баки. Образовавшийся осадок обезвоживается и вывозится в места, согласованные с органами санитарной охраны, или утилизируется в производстве строительных изделий, бетонов или растворов.

### **Список источников**

1. Головачев А.В., Абросимова Е.М. Применение гипохлорита натрия при обеззараживании воды // Водоснабжение и сан. техника. 2009. № 4. С. 8–12.
2. Скрябин А.Ю., Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Пчельников И.В. Низко- и высококонцентрированный гипохлорит натрия: Преимущества и недостатки применения в схемах обеззараживания питьевых вод // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. 2014. № 2. С. 48–52.
3. Кинебас А.К. Внедрение обеззараживания воды гипохлоритом натрия и ультрафиолетовым облучением в системах водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга // Водоснабжение и сан. техника. 2005. № 12, ч. 1. С. 16–20.
4. Григорьев А.Б., Расс Р. Сравнительная оценка высоко- и низкоконцентрированного гипохлорита натрия для дезинфекции питьевых вод // Водоснабжение и сан. техника. 2006. № 10. С. 42–46.
5. Нгуен Тхи Зьен. Технология производства дезинфицирующего реагента – гипохлорита натрия из хлоридсодержащих природных вод: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2022. 20 с.
6. Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л., Майков В.М., Шведков П.В. Технология подготовки питьевой воды из подземного источника с высоким содержанием железа и марганца // Известия вузов. Строительство. 2022. № 1. С. 44–56.

### **References**

1. Golovachev A.V., Abrosimova E.M. Application of sodium hypochlorite in water disinfection. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary engineering*. 2009; (4): 8–12. (In Russ.).
2. Skryabin A.Yu., Fesenko L.N., Ignatenko S.I., Pchelnikov I.V. Low- and high-concentration sodium hypochlorite: advantages and disadvantages of application in drinking water disinfection schemes. *Vodoochistka, vodopodgotovka, vodosnabzhenie = Water purification, water treatment, water supply*. 2014; (2): 48–52. (In Russ.).
3. Kinebas A.K. Implementation of water disinfection with sodium hypochlorite and ultraviolet irradiation in the water supply and sanitation systems of St. Petersburg. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary engineering*. 2005; (12): 16–20. (In Russ.).
4. Grigoryev A.B., Rass R. Comparative evaluation of high- and low-concentration sodium hypochlorite for disinfection of drinking water. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary engineering*. 2006. (10): 42–46. (In Russ.).
5. Nguen Tkhi Zyen. Technology for the production of a disinfectant reagent – sodium hypochlorite from chloride-containing natural waters: Abstract ... PhD. Moscow, 2022. 20 p. (In Russ.).
6. Voytov E.L., Skolubovich Yu.L., Maykov V.M., Shvedkov P.V. Technology for the preparation of drinking water from an underground source with a high content of iron and manganese. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (1): 44–56. (In Russ.).

**Информация об авторах**

**Е.Л. Войтов** – доктор технических наук, доцент, voitovel@ya

**Ю.Л. Сколубович** – доктор технических наук, профессор, skolubovich@sibstrin.ru

**В.М. Майков** – главный технолог, spirino@list.ru

**П.В. Шведков** – инженер, shvedkovo@mail.ru

**Information about the authors**

**E.L. Voytov** – DSc, Ass. Professor, voitovel@ya

**Yu.L. Skolubovich** – DSc, Professor, skolubovich@sibstrin.ru

**V.M. Maykov** – Chief Technologist, spirino@list.ru

**P.V. Shvedkov** – Engineer, shvedkovo@mail.ru

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 26.12.2022

The article was submitted 26.12.2022

Одобрена после рецензирования 24.01.2023

Approved after reviewing 24.01.2023

Принята к публикации 31.01.2023

Accepted for publication 31.01.2023

---