

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.16

*ЛУКАШЕВИЧ ОЛЬГА ДМИТРИЕВНА, докт. техн. наук, профессор,
odluk@yandex.ru
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2,
ПАТРУШЕВ ЕВГЕНИЙ ИННОКЕНТЬЕВИЧ,
odluk@yandex.ru
ООО «Надежда – ВЛ»,
634018, г. Томск, ул. Континентальная, 7,
ФИЛИЧЕВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, ст. преподаватель,
soba77@mail.ru
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ СОСТАВА МАЛОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Рассмотрены особенности состава и свойств природных вод северных территорий Сибири. Они характеризуются высокой цветностью благодаря большой концентрации органических, преимущественно гумусовых, веществ и содержанием железа и марганца, многократно превышающим нормативы. Одновременно в этих водах присутствует много соединений кремния и мало солей жесткости, низкая общая минерализация и щелочность. Такое сочетание показателей делает невозможным получение питьевой воды высокого качества по традиционным технологиям водоподготовки. Предложена технология, позволяющая получить физиологически полноценную питьевую воду из природных вод с высоким содержанием железа и марганца. Комбинирование в единой системе модулей окисления, минерализации, коагулирования, фильтрования позволяет создать условия для удаления из воды нежелательных ингредиентов и обогащения кальцием и магнием в количествах, соответствующих критериям физиологической полезности. Реализация технологии позволит улучшить негативную ситуацию в обеспечении доброкачественной питьевой водой жителей северных регионов, работников нефтегазовой отрасли в поселках, не имеющих централизованного водоснабжения.

Ключевые слова: технология водоподготовки; обезжелезивание; деманганация; минерализация; физиологически полноценная вода.

OLGA D. LUKASHEVICH, DSc, Professor,
odluk@yandex.ru
Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia,
EVGENII I. PATRUSHEV,
usovant@tpu.ru
ООО 'Nadezhda – VL'
7, Kontinental'naya Str., 634018, Tomsk, Russia,
SERGEY A. FILICHEV, Senior Lecturer,
coba77@mail.ru
Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia

CONDITIONING OF LOW-MINERALIZED IRON-CONTAINING UNDERGROUND WATER

The paper deals with properties of natural water in northern Siberia, such as colour owing to a high concentration of humic substances, iron and manganese which exceed the standard values. Also, natural water in northern Siberia is high in silicon compounds and low in hardness salts and possesses low salinity and alkalinity. Such a combination of water properties makes impossible to produce high-quality drinking water using the traditional treatment technologies. The paper proposes a treatment technology which allows the production of the high-quality water from natural resources high in iron and manganese. A combined use of oxidation, mineralization, coagulation and filtration systems allows eliminating undesirable ingredients from water and enriching it with calcium and magnesium in the amount satisfying the criteria of physiological relevance. The implementation of this technology will improve the water quality in northern Siberia and create convenient conditions in regions without the centralized water supply.

Keywords: water treatment technology; iron elimination; demanganation; mineralization; physiological relevance.

Решение проблемы обеспечения населения доброкачественной водой остается актуальным, несмотря на внимание к ней со стороны правительственных органов и бизнес-структур в рамках долгосрочных целевых программ. Многие жители удаленных территорий не имеют возможности пользоваться водопроводом, используют воду из поверхностных или подземных источников, не соответствующую санитарно-гигиеническим нормативам [1]. Особую сложность представляет кондиционирование природных вод северных районов Сибири, для которых характерно высокое содержание железа и сопутствующего ему марганца, кремния, органических веществ, а также малые жесткость и общая минерализация. В подземных водах региона железо присутствует в форме ионов двухвалентного железа, в виде коллоидных органических и неорганических соединений, сложных комплексных веществ, в которых трехвалентное железо «защищено» лигандами от внешнего воздействия, а также в виде истинного раствора органических соединений двух- и трехвалентного железа. В поверхностных водоемах и водотоках, особенно с болотным типом питания, железо может присутствовать в виде органических соединений или в коллоидной форме. Марганец в подземных водах

обычно содержится в виде солей двухвалентного марганца, хорошо растворимых в воде, а в поверхностных водах – в виде коллоидных или комплексных органических соединений [2, 3]. Это многообразие форм нахождения металлов требует их учета при выборе способов и средств водоподготовки и приводит к быстрому выходу из строя оборудования, не приспособленного к обработке указанных типов вод.

Традиционные способы обезжелезивания и деманганации основаны на аэрировании природных вод, в результате чего Fe^{+2} и Mn^{+2} окисляются кислородом воздуха и образуют нерастворимые соединения железа и марганца, и фильтрации аморфно-кристаллических осадков, основу которых составляют $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и $\text{Mn}(\text{OH})_4$ [4–7]. В случае маломинерализованных, мягких, высококремнистых вод с большим содержанием органических веществ этот процесс затруднен. В работах [1, 8, 9] отмечается мешающее влияние «среды» – совокупности растворенных органических веществ гумусового происхождения и ионов поликремниевых кислот, окружающих Fe^{+2} и Mn^{+2} , а также характерного уровня кислотности $\text{pH} < 6,5$ и низкого значения показателя Eh. Экспериментально установлено, теоретически обосновано и подтверждено примерами из практической деятельности, что при низком содержании в воде ионов кальция и магния переход в осадок железа и марганца затруднен. С одной стороны, это можно объяснить неблагоприятным для образования гидроксидов $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и $\text{Mn}(\text{OH})_4$ диапазоном (pH): околонеутральная среда поддерживается в природных водах, главным образом, благодаря гидролизу карбонатов и гидрокарбонатов кальция, магния, натрия, а гуминовые вещества смещают pH в сторону меньше 6,5. В направлении с юга на север воды гидрокарбонатно-кальциевого типа постепенно меняются: в катионном составе начинает превалировать натрий, в анионном – силикаты, высшие карбоновые кислоты, появляются фосфаты. С другой стороны, проводя правомерную аналогию между физико-химическими процессами, лежащими в основе водоподготовки, и гидрогенным минералообразованием и выщелачиванием минералов в природных водах, а также обращаясь к фундаментальным химическим закономерностям, описывающим процессы кристаллизации, растворения, комплексообразования, коллоидации, седиментации, можно утверждать следующее. В силу уникальности химического состава воды каждого водного объекта скорость и глубина протекания химических реакций, сопровождающих осадкообразование, имеют специфические особенности, но зависят от значений Eh, pH и стадии зародышеобразования с участием CaCO_3 , с которой начинается формирование частиц твердой фазы.

Последние два десятилетия характеризуются «разворотом» специалистов в области гигиены и санитарии от традиционной «запретительной» идеологии, когда главным было ограничить с помощью нормативов ПДК верхний предел безопасной концентрации растворенного в воде вещества, к пониманию важности наличия в воде целого ряда химических элементов в количестве, обусловленном суточной нормой потребности человека [10–14]. В соответствии с современными представлениями о качестве питьевой воды мы полагаем, что главным показателем эффективности очистки служит соответствие полученной питьевой воды критерию «физиологическая полноценность».

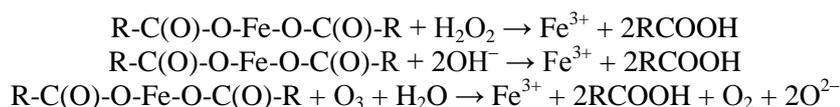
Цель настоящей работы – разработать технологию, предназначенную для очистки маломинерализованной воды с высоким содержанием железа, марганца и органических веществ, и устройство для ее реализации, отличающееся простотой, надежностью, долговечностью, экономичностью.

Для достижения поставленной цели решались задачи:

- исследование особенностей состава и свойств природных вод, характерных для северных территорий Сибири;
- изучение взаимного влияния железа, марганца, кальция, магния, содержащихся в воде, на условия осадкообразования;
- анализ существующих технических решений, направленных на обезжелезивание и обогащение кальцием и магнием маломинерализованной воды, на этой основе – выбор из наилучших доступных технологий таких, которые дают максимальный эффект при минимальных затратах материальных ресурсов и исключают ручной труд;
- создание технологии очистки воды и на этой основе – изготовление экспериментальной станции для кондиционирования природной воды;
- экспериментальная проверка эффективности работы станции при очистке реальных подземных вод, характерных для Севера Сибири.

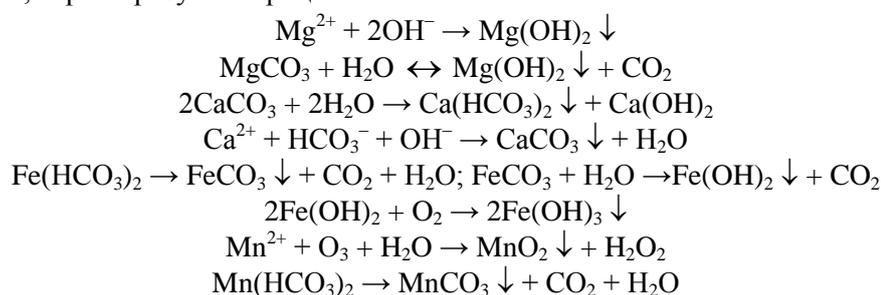
Ранее нами был проведен анализ некоторых новых и ранее известных способов и технологий очистки воды в контексте их потенциала для использования в районах с высоким содержанием в природных водах железа и марганца [1, 15]. Кроме многократно превышающего ПДК содержания железа и марганца, природные воды Севера Сибири характеризуются высокими концентрациями органических веществ. Нередко одновременно в них имеется малое количество солей кальция и магния и большое – кремния. При таком сочетании железа и марганца находятся в формах, устойчивых к окислению и деструкции. Среди способов обезжелезивания и деманганации, основанных на использовании физических и физико-химических процессов при обработке воды, известны ультрафиолетовое воздействие, мембранные методы, гетерогенный катализ, электрокоагуляция, ультразвуковая обработка, кавитация, озонирование, электроразрядные технологии и продвинутое окислительные технологии (АОТ – advanced oxidation processes (technologies)) [16–20]. Их применение в каждом конкретном случае требует обоснования с позиции экологической и экономической целесообразности.

Исходя из принципов «необходимо и достаточно» и «дорогое долговечное вместо дешевого недолговечного», как отвечающих целям устойчивого развития в ЖКХ, ранее нами была предложена технология очистки природных вод от железа и марганца, в том числе в устойчивых формах, с использованием электрических полей, обработки воды озоном, ультразвукового, кавитационного воздействия [21]. Разработано устройство – камера окисления, в которой реализован принцип быстрого перемешивания и эффективного диспергирования кислорода (при необходимости – в смеси с озоном) в циркуляционном контуре. Так достигается цель разрушить фульватные и гуматные комплексные соединения железа, что схематично можно описать процессами с участием частиц сильных окислителей, присутствующих в этих условиях в воде:



Наряду с приведенными химическими реакциями, при быстром перемешивании происходит рассеяние стремящихся к ассоциированию коллоидных частиц по всему объему обрабатываемой воды, что способствует их дестабилизации (благодаря нейтрализации зарядов), уменьшению агрегативной и седиментационной устойчивости и облегчает дальнейшее сцепление друг с другом и седиментацию.

Выпадение в осадок труднорастворимых солей, оксидов и гидроксидов – компонентов гидрогенных минералов, идентифицированных при физико-химических исследованиях частиц осадков, взятых на станциях водоподготовки, характеризуется процессами:



Образование зародышей, инициирующих процесс кристаллизации осадков, тесно связано с концентрацией в воде ионов кальция и магния и ее щелочностью. Из приведенных уравнений реакций следует, что повышение pH создает лучшие условия для осаждения железа и марганца. Именно в жесткой воде (соответственно, имеющей более высокий показатель pH) процессы обезжелезивания и деманганации протекают эффективнее: с большей скоростью и меньшими остаточными концентрациями ионов металлов.

Вышесказанное объясняет интерес к вопросу: «Какой должна быть минерализация воды, чтобы обеспечить эффективное осаждение загрязняющих веществ?» Обращение к действующим нормативно-техническим документам, регламентирующим деятельность в области водоподготовки, и трудам наиболее авторитетных специалистов по обезжелезиванию воды (И.Э. Апельцин, Г.Ю. Асс, Л.А. Кульский, Г.И. Николадзе и др.) не дает ответа на этот вопрос. В рекомендуемых расчетах доз реагентов, необходимых для коагулирования, известкования, окисления, главное внимание уделяется таким показателям исходной («сырой») воды, как pH, перманганатная окисляемость, содержание свободного CO_2 и ионов двухвалентного железа. Жесткость воды при этом рассматривается с точки зрения ее негативного влияния на качество воды, используемой для производственных нужд и в хозяйственно-бытовых целях (и, соответственно, описываются способы умягчения), но не как полезное свойство природной воды. Факт привнесения в воду дополнительных ионов кальция при известковании обычно не рассматривается: обсуждается только роль извести (в пересчете на CaO) в подщелачивании и удалении избытка углекислоты. По-видимому, наступило время, когда необходимо изменить неко-

торые устоявшиеся подходы к проблеме качества питьевой воды и рассматривать не только верхний, но и нижний пределы концентраций растворенных веществ (подобно тому, как это сделано для фтора). Пока это учтено только для бутылированной воды при разработке СанПиН 2.1.4.1116–02 [22].

При длительном употреблении воды, обладающей как повышенной, так и пониженной минерализацией, происходит сбой в водно-солевом гомеостазе организма, нарушается кислотно-щелочной баланс, возникают функциональные сдвиги, связанные с заболеваниями сердечно-сосудистой, выделительной систем, желудочно-кишечного тракта [12]. Рекомендуемые для человека Всемирной организацией здравоохранения суточные концентрации ионов кальция и магния в воде составляют 80–100 и 100–150 мг/дм³ соответственно. Отметим, что из белковых продуктов организм усваивает только третью часть кальция, а из воды – полностью.

Невелико число патентов и научных статей, посвященных кондиционированию воды с позиции придания ей новых потребительских качеств, прежде всего нацеленных на формирование композиции растворенных в воде ингредиентов, в которой сочетание химических элементов отражает качественный и количественный их состав, соответствующий потребностям организма человека. При общем растущем объеме информации (главным образом, рекламного или «знахарского» характера) в Интернет-пространстве, касающейся пользы микроэлементов и необходимости использовать шунгит, кварц, кальцит, жемчуг, кораллы и другие природные минералы для придания воде целебных свойств, опубликовано крайне мало достоверных сведений и материалов с результатами экспериментов, предоставляющих научные факты по данной проблеме. Среди заслуживающих внимания методов обработки воды с целью обогащения ее физиологически ценными компонентами преобладают реагентные методы. В первую очередь они находят применение для обработки деминерализованной воды, прошедшей очистку мембранно-осмотическими методами [23].

Недостатками реагентных методов являются необходимость использования специальных помещений для хранения и подготовки растворов химикатов, постоянное слежение за четким соблюдением регламентов, обеспечение стабильных поставок качественных реактивов и т. д. Кроме того, использование химических реагентов сопровождается риском привнесения в обрабатываемую воду нежелательных сопутствующих дополнительных химических веществ.

С точки зрения простоты технического решения представляют интерес способы, основанные на пропускании воды через слой минерала, из которого вымываются в контактную среду водорастворимые компоненты. Некоторые исследователи относят эти методы к безреагентным. Нередко в качестве сорбентов и фильтрующих материалов применяются карбонатные породы [24, 25]. При этом они рассматриваются только с точки зрения адсорбции загрязнителей на их поверхности, без серьезного внимания исследователей к другим параллельно протекающим химическим реакциям, прежде всего – к растворению. В естественно-природных условиях это соответствует выщелачиванию, эрозии. Растворение трактуется современной наукой как совокупность физических и химических процессов. На наш взгляд, применительно

к рассматриваемой проблеме следует говорить о квази-реагентном методе, поскольку наблюдается гетерогенно-гомогенный процесс. В упрощенном виде он представляет собой несколько стадий, среди них: отрыв частиц с поверхности минерала, переход их в объем, адсорбция на образовавшихся дефектах поверхности многовалентных ионов из водной среды, гидролиз, образование гидроксокомплексов и др.

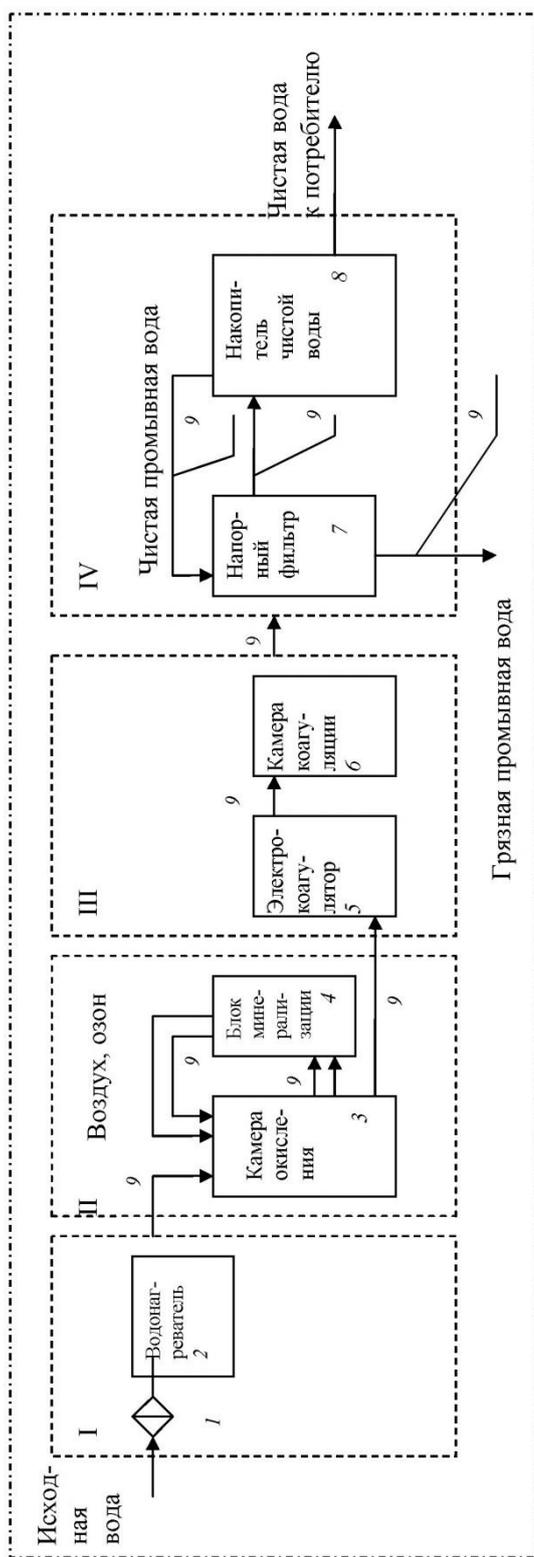
На основании приведенных рассуждений выделены основные этапы водоподготовки и соответствующие им технологические модули, способные обеспечить получение воды высокого качества из водоисточников, расположенных на североазиатской территории, с составом природной воды, не удовлетворяющим ГОСТ 2761–84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого снабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора». Региональными особенностями такой воды являются, как уже упоминалось, сочетание высокого содержания железа, марганца, кремния, органических веществ на фоне малой минерализации, жесткости, щелочности, пониженного показателя рН. Для сокращения объема статьи нами исключено из представленных материалов обсуждение вопросов удаления растворенных газов, не детализируются причины высоких значений мутности и цветности и их изменение при обработке воды. Ранее было показано, что значения этих показателей тесно связаны с другими, обсуждаемыми в наших исследованиях, и их величина становится нормативно приемлемой после обработки воды по предлагаемой технологии [1].

На рисунке представлена технологическая схема станции водоподготовки для обогащения кальцием и магнием природных вод с малой минерализацией и очистки от железа, марганца, гумусовых веществ. Станция содержит систему подачи природной воды и последовательно установленные модули.

I – модуль первичной обработки воды. Он включает фильтр грубой очистки 1, в котором удерживаются механические загрязнители, и устройство для обогрева воды 2. Эффективная очистка воды достигается только при температуре выше 8 °С, поэтому существует необходимость подогрева природной воды, часто имеющей температуру только 1–2 °С.

II – модуль окисления и минерализации – важнейший элемент системы очистки воды, в котором происходит эжекционная аэрация и кавитационное воздействие. Для этого используется камера окисления с эжектором и кавитатором, включенными в циркуляционный контур (действие этого устройства описано в работах [8, 21]), блок минерализации с дробленным доломитом или доломитовой минеральной добавкой (ДМД) – композицией на основе карбонатных пород с высоким содержанием кальция и магния 4.

III – модуль электрохимической обработки воды, не являющийся обязательным элементом системы очистки воды. Он применяется в случае, когда в модуле II не удается полностью разрушить устойчивые соединения железа и необходимо дополнительное деструктивное электрополевое воздействие. В электрокоагуляторе 5 такая обработка воды происходит при ее протекании через межэлектродное пространство, благодаря чему уменьшается дзета-потенциал коллоидных частиц, протекают реакции катодного восстановления и анодного окисления, способствующие переходу тяжелых металлов в труднорастворимые вещества.



Технологическая схема станции водоподготовки для обогащения природных вод с малой минерализацией и очистки от железа, марганца, гумусовых веществ:

I – модуль первичной обработки воды; II – модуль окисления и минерализации; III – модуль электрохимической обработки воды; IV – модуль финишной очистки и резервирования воды; 1 – фильтр грубой очистки; 2 – устройство для обогрева воды; 3 – камера окисления с эжектором и кавитатором, включенными в циркуляционный контур; 4 – блок минерализации с дробленным доломитом (или иной породой, содержащей кальций и магний, способные выщелачиваться); 5 – электрокоагулятор; 6 – камера коагуляции; 7 – напорный фильтр с зернистой загрузкой; 8 – резервуар-накопитель чистой воды; 9 – система подачи и отвода воды

Электрохимическая обработка обеспечивает разрушение органических коллоидов и комплексов, солей поликремниевых кислот. Процесс осаждения при этом частично происходит в камере коагуляции 6, что позволяет снизить грязевую нагрузку на фильтр на последующей стадии очистки воды.

IV – модуль финишной очистки и резервирования воды. Модуль содержит напорный фильтр 7 с зернистой загрузкой и резервуар-накопитель чистой воды 8, откуда вода подается потребителю. Конструкция фильтра представлена в работе [26].

Что касается обеззараживания воды, то существует несколько подходов к решению этой проблемы. Во-первых, в случае использования подземного источника водоснабжения исходная вода не содержит патогенной микрофлоры, а обработка озоном делает ее практически стерильной. Если при этом производительность станции водоподготовки соответствует объему суточного водоразбора, то бактериальное загрязнение, потенциально возможное как вторичный процесс, не наблюдается. Если источник водоснабжения ненадежный, возможно, при длительном нахождении очищенной воды в резервуарах, нарушении герметичности модулей (например, при замене материалов, деталей и т. п.), то бактерицидное воздействие реализуется по нескольким вариантам. Например, добавлением к воде расчетной дозы гипохлорита натрия или другого хлорагента или вторичным озонированием воды.

Для выбора наиболее эффективного материала блока минерализации исследованы свойства ряда горных пород с высоким содержанием кальция и магния и их композиций. При проведении экспериментов были выбраны материалы: доломит (Советское месторождение, Алтайский край), содержащий 54,5 % CaCO_3 и 44,5 % MgCO_3 ; модифицированный доломит (композит ДМД – доломитовая минеральная добавка), содержащий 55,0 % CaCO_3 , 43,5 % MgCO_3 и остальное – модифицирующие добавки; мрамор (Саяногорск), композит из смеси брусита $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (Кульдурское месторождение, Дальний Восток) и кальцита CaCO_3 (Красноярский край) в разных соотношениях. Эксперименты показали, что лучшими характеристиками обладают доломит и ДМД: при их использовании происходит медленный переход ионов магния и кальция в обрабатываемую воду, повышается величина рН и минимален вынос грубодисперсных частиц минерала из корпуса блока минерализации, обеспечивается интенсификация перевода в осадок железа и марганца, связанных в устойчивые вещества благодаря органическим и кремнийсодержащим компонентам. Использование мрамора не повышает степень очистки воды от железа и марганца. Использование композита на основе брусита и кальцита хотя и дает положительный эффект, но сопряжено с техническими трудностями (связанными с дополнительными операциями по приготовлению смеси минералов и др.).

Доломитовая минеральная добавка отличается от природного доломита тем, что предварительная обработка минерала позволяет освободить его от нежелательных примесей – потенциальных загрязнителей воды и модифицировать полезными компонентами. Экспериментально было показано, что эффективный размер частиц доломитовой минеральной добавки составляет 3–5 мм. Более мелкие частицы плохо удерживаются в блоке с ДМД, а более крупные не обеспечивают достаточную площадь поверхности для протекания топохи-

мических процессов. Вода, многократно проходя через блок с ДМД, со скоростью потока жидкости, установленной в зависимости от суточного расхода воды, обогащается кальцием и магнием в минимально необходимом по критерию «физиологическая потребность» количестве.

Разработанная технология очистки воды, реализованная в блочно-модульной экспериментальной станции для кондиционирования природной воды, была опробована при очистке скважинной воды в Новом Уренгое. На протяжении 5 месяцев технологических испытаний в реальных производственных условиях фиксировалась высокая эффективность очистки воды, что показывают результаты химического анализа воды, подвергавшейся физико-механической и физико-химической обработке, приведенные в таблице.

**Эффективность очистки и насыщения подземной воды
кальцием и магнием при обработке на модульной станции
(по технологии в соответствии со схемой, показанной на рисунке)**

№ п/п	Показатели качества воды, единицы измерения	Норматив для питьевой воды (по СанПиН 2.1.4.1074–01)	Величина показателя до и после очистки
1	Запах, баллы	Не более 2	4/1
2	Цветность, градусы	20	25/< 5
3	рН	6–9	6,0/6,6
4	Жесткость, ммоль/дм ³	7 (10)	0,2/1,6
5	Окисляемость перманганатная, мгО/дм ³	5 (10)	6,0/3,0
6	Азот аммонийный (N), мг/дм ³	< 2	3,3/0,1
7	Нитраты (по NO ₃), мг/дм ³	< 45	< 0,4/0,2
8	Нитриты, мг/дм ³	< 3	0,10/0
9	Сульфаты, мг/дм ³	500	12,36/6,4
10	Хлориды, мг/дм ³	350	1,6/1,0
11	Железо, мг/дм ³	0,3	5,9/0,2
12	Марганец, мг/дм ³	0,1	0,5/0,05
13	Сухой остаток, мг/дм ³	1000	150/302
14	Кремний (по Si), мг/дм ³	10	18,0/8,4
15	Кальций, мг/дм ³	От 30 до 140	3,6/16,0
16	Магний, мг/дм ³	От 5 до 85	0,24/9,6
17	Медь, мг/дм ³	< 1	0,24/0,10
18	Свинец, мг/дм ³	< 0,03	0,22/0,12

Экспериментально показано, что в результате обработки подземной воды по разработанной технологии происходит значительное снижение в ней содержания железа и марганца, вдвое уменьшается концентрация меди и свинца, как следствие – значительно улучшается показатель цветности. Удаётся повысить количество кальция и магния, что объясняет увеличение жесткости и сухого остатка. Все показатели качества воды, достигнутые

в процессе очистки, полностью соответствуют нормативам, предъявляемым к питьевой воде соответствующим СанПиН 2.1.4.1074–01 [10].

Таким образом, представленная в материалах данной статьи технология, предназначенная для очистки маломинерализованной воды с высоким содержанием железа, марганца и органических веществ, обеспечивает получение питьевой воды высокого качества, удовлетворяющей критерию «физиологическая полноценность».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лукашевич, О.Д.* Совершенствование промышленного и хозяйственно-питьевого водопользования для повышения уровня его экологической безопасности (на примере районов Западной Сибири) / О.Д. Лукашевич. – Томск : ТГАСУ, 2006. – 349 с.
2. *Труфанов, А.И.* Формирование железистых подземных вод / А.И. Труфанов. – М. : Наука, 1982. – 126 с.
3. *Munter, R.* Complexed iron removal from groundwater / R. Munter, H. Ojaste, J. Sutt // *Journal of environmental engineering.* – 2005. – V. 131. – № 7. – P. 1014–1020.
4. *Кульский, Л.А.* Теоретические основы и технология кондиционирования воды / Л.А. Кульский. – Киев : Наукова думка, 1980. – 560 с.
5. *Николадзе, Г.И.* Технология очистки природных вод / Г.И. Николадзе. – М. : Высшая школа, 1987. – 480 с.
6. *Водоснабжение: пособие по модернизации* / Н.П. Фрог, С.А. Шидловский, М.А. Шидловский [и др.]. – М. : Обнинск: Фабрика офсетной печати, 2011. – 192 с.
7. *Драгинский, В.Л.* Очистка подземных вод от соединений железа, марганца и органических загрязнений / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева // *Водоснабжение и санитарная техника.* – 1997. – № 12. – С. 16–19.
8. *Лукашевич, О.Д.* Очистка воды от соединений железа и марганца: проблемы и перспективы / О.Д. Лукашевич, Е.И. Патрушев // *Известия вузов. Химия и хим. технология.* – 2004. – Т. 47. – № 1. – С. 66–70.
9. *Славинская, Г.В.* Органические вещества как фактор, осложняющий кондиционирование воды промышленного и питьевого назначения / Г.В. Славинская, В.Ф. Селеменев // *Сорбционные и хроматографические процессы.* – 2007. – Т. 7. – № 2. – С. 297–302.
10. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 103 с.
11. *Воейков, В.Л.* Свойства, определяющие биологическую ценность воды / В.Л. Воейков // *Питьевая вода.* – 2007. – № 4 (40). – С. 12–17.
12. *К вопросу корректировки гигиенических нормативов* с учетом уровня жесткости питьевых вод / С.И. Плитман, Ю.В. Новиков [и др.] // *Гигиена и санитария.* – 1989. – № 7. – С. 7–9.
13. *Гигиенические основы формирования перечней показателей* для оценки и контроля безопасности питьевой воды / Г.Н. Красовский, Ю.А. Рахманин, Н.А. Егорова [и др.] // *Гигиена и санитария.* – 2010. – № 4. – С. 8–13.
14. *Зуев, Е.Т.* Питьевая и минеральная вода. Требования мировых и европейских стандартов к качеству и безопасности / Е.Т. Зуев, Г.С. Фомин. – М. : Протектор, 2003. – 319 с.
15. *Технология и высокоэффективное оборудование* для удаления железа и марганца из маломинерализованных подземных вод / О.Д. Лукашевич, Е.И. Патрушев, Н.Е. Патрушева, С.А. Филичев // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* – 2015. – № 4. – С. 192–205.
16. *Гончарук, В.В.* Нанофильтрация в питьевом водоснабжении / В.В. Гончарук, А.А. Кавицкая, М.Д. Скильская // *Химия и технология воды.* – 2011. – Т. 33. – № 1. – С. 63–94.
17. *Пат. № 96571.* Российская Федерация. Устройство для комплексной очистки воды / Н.В. Кириллова, О.В. Бакина, С.Г. Псахье, Н.В. Сваровская, М.И. Лернер ; заявл. 22.01.2014 ; опубл. 27.06.2014.

18. Пат. № 120964. Российская Федерация. Устройство электрохимической очистки воды / С.А. Шемчук, Н.П. Красильников ; заявл. 29.12.2011 ; опубл. 10.10.2012.
19. Очистка воды с применением электроразрядной обработки / Н.А. Яворовский, В.Д. Соколов, Ю.Л. Сколупович, И.С. Ли // Водоснабжение и санитарная техника. – 2000. – № 1. – С. 12–14.
20. Пат. № 109133. Российская Федерация. Станция электрокоагуляционной подготовки питьевой воды с оборотной системой утилизации промывной воды / В.Н. Демидович, С.А. Скрылев, В.В. Макаров, Ю.Е. Добродеев, А.Ф. Кучумов, Л.Г. Шиблева ; заявл. 13.04.2011 ; опубл. 10.10.2011.
21. Пат. № 2434814. Российская Федерация. Установка для очистки воды / О.Д. Лукашевич, Е.И. Патрушев, Н.Е. Патрушева, С.А. Филичев ; заявл. 09.06.2010 ; опубл. 27.11.2011.
22. СанПиН 2.1.4.1116–02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества (с изменениями от 25 февраля 2010 г., 28 июня 2010 г.). – М. : Минздрав России, 2002.
23. Пат. № 2515317. Российская Федерация. Способ минерализации жидкости и система для его осуществления / В.Н. Книзель, А.И. Аксенов, Д.Л. Шмидт ; заявл. 12.12.2012 ; опубл. 10.05.2014.
24. Пат. № 2528253. Российская Федерация. Способ получения гранулированной фильтрующей загрузки производственно-технологических фильтров для очистки скважинной воды / О.А. Полозова ; заявл. 12.03.2013 ; опубл. 10.09.2014.
25. Калюкова, Е.Н. Исследование процесса сорбции катионов марганца (II) на доломите и шунгите / Е.Н. Калюкова, Е.В. Кислова // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2013. – № 4 (13). – С. 36–38.
26. Лукашевич, О.Д. Исследование и разработка фильтра для очистки железосодержащих вод / О.Д. Лукашевич, Е.И. Патрушев // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2006. – № 1. – С. 16–19.

REFERENCES

1. *Lukashevich O.D.* Sovershenstvovanie promyshlennogo i hozyaistvenno-pit'evogo vodopolzovaniya dlya povysheniya urovnya ego ekologicheskoy bezopasnosti (na primere rayonov Zapadnoi Sibiri) [Improvement of industrial and household water use for improving its ecological safety (a West Siberian case study)]. Tomsk: TSUAB Publ., 2006. 349 p. (rus)
2. *Trufanov A.I.* Formirovaniye zhelezistykh podzemnykh vod [Formation of ferrous groundwater]. Moscow: Nauka Publ., 1982. 126 p. (rus)
3. *Munter R., Ojaste H., Sutt J.* Complexed iron removal from groundwater. *Journal of Environmental Engineering*. 2005. V. 131. No. 7. Pp. 1014–1020.
4. *Kul'skii L.A.* Teoreticheskie osnovy i tekhnologiya konditsionirovaniya vody [Theoretical bases and water conditioning technology]. Kiev: Naukova dumka, 1980. 560 p. (rus)
5. *Nikoladze G.I.* Tekhnologiya ochistki prirodnykh vod [Natural water purification technology]. Moscow: Vysshaya Shkola Publ., 1987. 480 p. (rus)
6. *Frog N.P., Shidlovskii S.A., Shidlovskii M.A., et al.* Vodospabzhenie: posobie po modernizatsii [Water supply: a guide to modernization]. Moscow; Obninsk: Fabrika ofsetnoi pechati, 2011. 192 p. (rus)
7. *Draginskii V.L., Alekseeva L.P.* Ochistka podzemnykh vod ot soedinenii zheleza, margantsa i organicheskikh zagryaznenii [Purification of groundwater from iron, manganese compounds and organic impurities] *Vodospabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Technique]. 1997. No. 12. Pp. 16–19. (rus)
8. *Lukashevich O.D., Patrushev E.I.* Ochistka vody ot soedinenii zheleza i margantsa: problemy i perspektivy [Water purification from iron and manganese compounds: problems and prospects]. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khim. tekhnologiya* [News of Higher Educational Institutions. Chemistry and Chemical Technology]. 2004. No. 1. Pp. 66–70. (rus)
9. *Slavinskaya G.V., Selemenev V.F.* Organicheskie veshchestva kak faktor, oslozhnyayushchii konditsionirovaniye vody promyshlennogo i pit'evogo naznacheniya [Organic substances as a factor complicating industrial and drinking water conditioning]. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2007. No 2. Pp. 297–302. (rus)

10. *SanPiN 2.1.4.1074-01*. Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy [Sanitary rules and norms. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Sanitary and epidemiological rules and norms]. Moscow: Federal'nyi tsentr gossanepidemnadzora Minzdrava Rossii, 2002. 103 p. (rus)
11. *Voeikov V.L.* Svoistva, opredelyayushchie biologicheskuyu tsennost' vody [Biological value of water properties]. *Pit'evaya voda*. 2007. No. 4 (40). Pp. 12–17. (rus)
12. *Plitman S.I., Novikov Yu.V., et al.* K voprosu korrektyrovki gigienicheskikh normativov s uchetom urovnya zhestkosti pit'evykh vod [Towards amendments to hygienic standards and drinking water hardness]. *Gigiena i sanitariya*. 1989. No. 7. Pp. 7–9. (rus)
13. *Krasovskii G.N., Rakhmanin Yu.A., Egorova N.A., et al.* Gigienicheskie osnovy formirovaniya perechnei pokazatelei dlya otsenki i kontrolya bezopasnosti pit'evoi vody [Hygienic bases for formation of lists of indicators for safety assessment and monitoring of drinking water]. *Gigiena i sanitariya*. 2010. No. 4. Pp. 8–13. (rus)
14. *Zuev E.T., Fomin G.S.* Pit'evaya i mineral'naya voda. Trebovaniya mirovykh i evropeiskikh standartov k kachestvu i bezopasnosti [Drinking and mineral water. International and European standard requirements for water quality and safety]. Moscow: Protektor, 2003. 319 p. (rus)
15. *Lukashevich O.D., Patrushev E.I., Patrusheva N.E., Filichev S.A.* Tekhnologiya i vysokoefektivnoe oborudovanie dlya udaleniya zheleza i margantsa iz malomineralizovannykh podzemnykh vod [Technology and high-efficient equipment for iron and manganese removal from low-mineralized groundwater]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 4. Pp. 192–205. (rus)
16. *Goncharuk V.V., Kavitskaya A.A., Skil'skaya M.D.* Nanofil'tratsiya v pit'evom vodosnabzhenii [Nanofiltration in drinking water supply]. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2011. No. 1. Pp. 8–13. (rus)
17. *Kirillova N.V., Bakina O.V., Psakh'e S.G., Svarovskaya N.V., Lerner M.I.* Ustroistvo dlya kompleksnoi ochistki vody [An apparatus for integrated water purification]. UMP Rus. Fed. N 96571. 2014. (rus)
18. *Shemchuk S.A., Krasil'nikov N.P.* Ustroistvo elektrokhimicheskoi ochistki vody [The device of electrochemical water treatment]. UMP Rus. Fed. N 120964. 2012. (rus)
19. *Yavorovskii N.A., Sokolov V.D., Skolubovich Yu.L., Li I.S.* Ochistka vody s primeneniem elektrozaryadnoi obrabotki [Electric-discharge water treatment]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Technique]. 2000. No. 1. Pp. 12–14. (rus)
20. *Demidovich V.N., Skrylev S.A., Makarov V.V., Dobrodeev Yu.E., Kuchumov A.F., Shibleva L.G.* Stantsiya elektroagulyatsionnoi podgotovki pit'evoi vody s oborotnoi sistemoi utilizatsii promyvnoi vody [Electrocoagulation water treatment station with circulating system for flush water]. UMP Rus. Fed. N 109133. 2011 (rus)
21. *Lukashevich O.D., Patrushev E.I., Patrusheva N.E., Filichev S.A.* Ustanovka dlya ochistki vody [Installation of water purification]. Pat. Rus. Fed. N 2434814. 2011. (rus)
22. *SanPiN 2.1.4.1116-02*. Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody, rasfasovannoi v emkosti. Kontrol' kachestva (s izmeneniyami ot 25 fevralya 2010 g., 28 iyunya 2010 g.) [Drinking water. Hygienic requirements for prepackaged water quality. Quality control (amended Feb. 25, 2010, June 28, 2010)]. Moscow: Minzdrav Rossii Publ., 2002 (rus)
23. *Knizel'V.N., Aksenov A.I., Shmidt D.L.* Sposob mineralizatsii zhidkosti i sistema dlya ego osushchestvleniya [A method of water salinity and its implementation]. Pat. Rus. Fed. N 2515317. 2014. (rus)
24. *Polozova O.A.* Sposob polucheniya granulirovannoi fil'truyushchei zagruzki proizvodstvenno-tekhnologicheskikh fil'trov dlya ochistki skvazhinnoi vody [Production and technology for granular resin charge for wellbore water purification]. Pat. Rus. Fed. N 2528253. 2014. (rus)
25. *Kalyukova E.N., Kislova E.V.* Issledovanie protsessa sorbtzii kationov margantsa (II) na dolomite i shungite [Investigation of manganese (II) cation sorption on dolomite and shungite] *Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura*. 2013. No. 4 (13). Pp. 36–38 (rus)
26. *Lukashevich O.D., Patrushev E.I.* Issledovanie i razrabotka fil'tra dlya ochistki zhelezosoderzhashchikh vod [Research and development of iron-containing water purification filter]. *Voda i ekologiya. Problemy i resheniya*. 2006. No. 1. Pp. 16–19. (rus)