

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*

*ПАТРУШЕВА НИНА ЕВГЕНЬЕВНА, студентка,
rojdestvo@yandex.ru*

*ФИЛИЧЕВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, ассистент,
coba77@mail.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

ТЕХНОЛОГИЯ И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА ИЗ МАЛОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Разработаны технология и оборудование, позволяющие получить доброкачественную питьевую воду из природных вод с высоким содержанием железа и марганца в населенных пунктах, расположенных вдали от систем водоснабжения, либо в условиях, требующих эксплуатации водоисточника в автономном режиме. Рассмотрен один из вариантов комплексного решения проблемы безотходной водоподготовки благодаря использованию малогабаритных модульных станций обезжелезивания природной воды. В качестве фильтрующей загрузки может быть использован керамический материал, полученный из отходов водоподготовки. Такой подход позволяет утилизировать отходы станций обезжелезивания и улучшить негативную ситуацию в обеспечении доброкачественной питьевой водой жителей районов, не имеющих централизованного водоснабжения.

Ключевые слова: технология водоподготовки; обезжелезивание; малогабаритная модульная станция водоочистки; утилизация отходов водоподготовки.

OLGA D. LUKASHEVICH, DSc, Professor,

odluk@yandex.ru
EVGENII I. PATRUSHEV,
usovant@tpu.ru
ООО 'Nadezhda – VL'
7, Kontinental'naya Str., 634018, Tomsk, Russia
NINA E. PATRUSHEVA, Student,
rojdestvo@yandex.ru
SERGEY A. FILICHEV, Instructor,
coba77@mail.ru
Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia

TECHNOLOGY AND HIGH-EFFICIENT EQUIPMENT FOR IRON AND MANGANESE REMOVAL FROM LOW-MINERALIZED GROUNDWATER

The paper presents the technology and equipment for the high-quality drinking water obtained from natural sources high in iron and manganese or under conditions requiring the water resource operation in the autonomous mode. One of variants of wasteless water treatment is considered using small-scale modular stations for natural water iron elimination. Ceramics can be used as a filtering material obtained from water treatment wastes. This approach allows the waste utilization produced by iron elimination stations and organize water supply to regions without it.

Keywords: water treatment technology; iron removal; portable modular wastewater treatment plant; utilization of waste water.

Качество питьевой воды – важнейшая составляющая качества жизни, что определяет важность решения задачи обеспечить его как в городах, так и в небольших населенных пунктах, вахтовых поселках, где отсутствует централизованное водоснабжение [1, 2]. С развитием рыночных отношений и стремлением экономить ресурсы увеличивается доля предприятий, стремящихся перейти на автономные системы водоснабжения, например, использовать природные воды, предварительно очищенные на собственных устройствах и сооружениях для водоподготовки. Формирование современных систем децентрализованного водоснабжения возможно путем строительства малогабаритных и в то же время надежных и простых в эксплуатации станций водоподготовки. Для природных вод северных районов Сибири характерно высокое содержание железа (часто одновременно – сопутствующего ему марганца), а также азота в аммонийной форме, кремния, сероводорода, органических веществ, образующих с ионами металлов устойчивые водорастворимые соединения в виде комплексных и коллоидных частиц [1–5]. Особые затруднения связаны с необходимостью очистки от соединений железа и марганца маломинерализованных вод с большим содержанием органических веществ. Цветность таких вод достигает 100–120 градусов по шкале цветности, запах – 3–5 баллов. В такой воде железо присутствует в виде труднорастворимых и окисляющихся устойчивых комплексных и коллоидных соединений. Специфический химический состав высокоцветных маломинерализованных вод

требует применения дополнительных технологических приемов при очистке от загрязнителей [6–11].

Существующие сегодня на рынке малогабаритные водоочистные устройства в большинстве своем рассчитаны только на доочистку водопроводной (уже прошедшей обработку на специальных сооружениях) воды, поэтому зачастую они требуют предварительного удаления из воды железа и других загрязняющих примесей, не способны работать при отсутствии напора, нуждаются в частой замене фильтрующих элементов [12, 13]. Другие разработки [14–16] предусматривают сложные многостадийные технологии, реализация которых осуществляется на дорогостоящем оборудовании и требует постоянного контроля за процессом очистки воды, обращения к специалистам в случае сбоев в работе.

Цель работы – разработать технологию, предназначенную для очистки маломинерализованной воды с высоким содержанием железа, марганца и органических веществ, в виде малогабаритной водоочистной станции, которую легко транспортировать и эксплуатировать в условиях Сибирского Севера.

Для достижения поставленной цели решались задачи: изучение компонентного состава природных вод исследуемой территории и взаимного влияния специфических региональных загрязнителей, содержащихся в воде, на условия ее очистки; анализ существующих технических решений в области очистки подземных вод; выбор из наилучших доступных технологий таких, которые смогут обеспечить высокую производительность при минимальных затратах ресурсов; создание технологии очистки воды и на этой основе изготовление опытно-промышленного образца малогабаритной станции; экспериментальная проверка эффективности работы водоочистной станции при очистке модельных растворов, имитирующих природные воды, и реальных подземных вод, характерных для Сибирского Севера; проведение технологических изысканий для выявления и устранения недостатков и совершенствования станции; разработка системы автоматизации основных операций при работе станции; подготовка разработки к серийному выпуску станций.

Рассмотрены некоторые новые и известные (ранее не нашедшие широкого применения и вновь востребованные после модернизации) процессы очистки воды, предлагаемые разработчиками для децентрализованного водоснабжения с точки зрения перспективы их использования в районах с высоким содержанием в природных водах железа и марганца. К ним относятся, в первую очередь, такие методы, как ультрафиолетовое воздействие, электрокоагуляция, ультразвуковая кавитация, озонирование, электроразрядные технологии и наиболее активно развивающиеся продвинутое окислительные технологии (АОТ – advanced oxidation processes (technologies)), предполагающие комбинированное воздействие на воду одновременно несколькими факторами [14–18].

АОТ характеризуются тем, что многофункциональное воздействие (например, облучение ультрафиолетом в сочетании с электрокоагуляцией) обеспечивает синергетический эффект, т. е. суммарный результат превосходит ожидаемый аддитивный. АОТ – совокупность методов, позволяющих производить естественные окислители (главным образом, радикалы OH^-

и другие частицы, представляющие собой комбинации ионов кислорода и водорода) в объёме или на поверхности воды.

Среди классических, давно положительно зарекомендовавших себя методов, следует рассмотреть реагентные методы. Использование в качестве сильных окислителей озона, хлора, гипохлорита натрия, перманганата калия, диводородпероксида обеспечивает протекание окислительно-восстановительных реакций, сопровождающихся уничтожением жизненно важных органелл микроорганизмов, деструкцией органических веществ, переходом аммонийного азота в нитратный, повышением степени окисления ионов металлов и переходом их в труднорастворимые соединения.

Несмотря на свои достоинства, реагентные методы имеют ряд ограничений для широкого применения, если необходимо осуществлять водоподготовку с помощью малогабаритных мобильных станций. Это связано с необходимостью использования реагентного хозяйства, квалифицированных специалистов, с обеспечением хорошей транспортной доступности, систем утилизации отработанных реагентов и т. д. Кроме того, использование химических реагентов влечет за собой привнесение в обрабатываемую воду нежелательных дополнительных химических веществ и образование токсичных продуктов, например, хлорсодержащих.

Для целей децентрализованного водоснабжения (а именно этот вариант предпочтителен для удаленных, малонаселенных пунктов, вахтовых поселков, туристических комплексов и т. п.) предпочтение следует отдать безреагентным технологиям. Среди них наиболее популярны такие, в которых используются активированный уголь, цеолиты и другие сорбенты. Однако сорбционные технологии далеко не всегда оправданы в случае высокожелезистых вод. При обработке таких вод мелкие поры сорбентов быстро и необратимо заполняются загрязнителями, а частая смена картриджей влечет за собой перерывы в работе оборудования, зависимость от поставок сорбента, удорожание технологии водоподготовки.

Само понятие «безреагентные технологии», сравнительно недавно появившееся в научно-технической литературе, спорно. Предполагается, что такие технологии исключают искусственное введение в обрабатываемую воду каких-либо химических веществ. Однако при воздействии полей и излучений сами растворенные в воде природные примеси начинают действовать как реагенты, которые можно охарактеризовать как экологически чистые «аборигенные» участники физико-химических процессов. В работе [2] рассматривается этот аспект индуцированного самоочищения воды.

Особую трудность представляет водоподготовка при высоком содержании в воде растворенных органических веществ и малом солесодержании. Органические вещества подземных вод Западно-Сибирского региона представлены большим многообразием типов. Встречаются углеводороды, низко- и высокомолекулярные карбоновые кислоты, гумусовые вещества, углеводы, аминокислоты, фенолы и др. [Там же]. При очистке воды от устойчивых к окислению и деструкции органических веществ и органоминеральных соединений можно использовать анодное окисление, не сопровождающееся выделением опасных для живых организмов веществ.

Понимание химизма процессов, протекание которых потенциально возможно под влиянием различных воздействий (вещественных, полевых) в природных условиях или в водопроводных сооружениях, создает предпосылки для обоснованного подхода к выбору той технологии очистки природной воды, которая будет наиболее эффективной в отношении данного специфического состава воды.

На основе проведенных теоретических обобщений можно сделать вывод, что наиболее целесообразны при реализации модульной системы в малогабаритной станции для очистки воды, на наш взгляд, с эколого-экономических позиций обработка воды озоном, ультразвуком, воздействие электрических полей.

В табл. 1 показаны основные процессы, благодаря которым осуществляются взаимодействия между компонентами природной воды в системах водоподготовки под воздействием различных факторов.

Таблица 1

**Процессы, протекающие при очистке природных вод
Западно-Сибирского региона**

Процессы, способствующие удалению загрязнителей из воды
Окисление и гидролиз растворенного железа: $4 \text{Fe}^{2+} + 10 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 = 4 \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow + 8 \text{H}^+$ $4 \text{Fe}(\text{HCO}_3)_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 = 4 \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow + 8 \text{CO}_2$ $2\text{Fe}^{+2} + \text{Cl}_2 + 6\text{HCO}_3^- = 2 \text{Fe}(\text{OH})_3 + 2\text{Cl}^- + 6\text{CO}_2$ $4\text{Fe}^{+2} + \text{MnO}_4^- + 8\text{HCO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{MnO}_2 + 8\text{CO}_2$ Изоморфизм: $\text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow - \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{FeOOH} \downarrow$ (гетит)
Разрушение фульватных и гуматных комплексов: $\text{R}-\text{C}(\text{O})-\text{O}-\text{Fe}-\text{O}-\text{C}(\text{O})-\text{R} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 2 \text{RCOOH}$ $\text{R}-\text{C}(\text{O})-\text{O}-\text{Fe}-\text{O}-\text{C}(\text{O})-\text{R} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 2 \text{RCOOH}$ $\text{R}-\text{C}(\text{O})-\text{O}-\text{Fe}-\text{O}-\text{C}(\text{O})-\text{R} + \text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 2 \text{RCOOH} + \text{O}_2 + 2\text{O}^{2-}$
Образование зародышей, инициирующих процесс кристаллизации осадка: $\text{Mg}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow$ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{MnCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{MgCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2$
Повышение pH создает лучшие условия для осаждения железа и марганца: $3\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{Fe}^{+3} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{Ca}^{+2}$
Деятельность железо- и марганец-окисляющих бактерий* $2\text{FeCO}_3 + 1/2 \text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 2\text{CO}_2$ $\text{Mn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{каталаза}} \text{MnO}_2 \downarrow + 2\text{H}^+$
Окисление марганца озоном $\text{Mn}^{2+} + \text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 \downarrow + \text{H}_2\text{O}_2$

Окончание табл. 1

Процессы, препятствующие удалению загрязнителей из воды
<p>При увеличении содержания CO_2, выделяющегося в результате ряда процессов, смещается углекислотное равновесие</p> $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ $\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ $\text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+$ $\text{CO}_3^{2-} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2 \text{HCO}_3^-$ <p>Избыток углекислоты способствует удерживанию железа в растворенном виде:</p> $\text{FeCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$
<p>Образование коллоидных частиц:</p> $n\text{Fe}^{3+} + 3x\text{L} + 3m\text{OH}^- \rightarrow \{m[\text{Fe}(\text{OH})_3]n\text{Fe}^{3+} 3(n-x)\text{L}^-\} 3x\text{L}$ $(n+m)\text{Fe}^{3+} + (n-x)\text{OH}^- + (x+y)\text{H}_2\text{O} \rightarrow \{[m\text{FeOOH}n\text{FeO}^+(n-x)\text{OH}^-y\text{H}_2\text{O}]z\text{H}_2\text{O}\}$
<p>Окисление и переход ионов железа в формы, устойчивые к окислению</p> $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} \rightarrow [\text{Fe L}_1\text{L}_i]^{+n, 0, -n}$ (комплексные соединения) Устойчивые фосфатные, силикатные, фульватные, гуматные комплексы железа, марганца, свинца, меди
<p>Образование комплексных соединений</p> $n\text{Fe}^{3+} + \text{HL}_1 + \text{HL}_2 \rightarrow [\text{Fe L}_1\text{L}_2]^{+n, 0, -n} + \text{H}^+$ <p>пример, с гуминовыми веществами:</p> $\text{Fe}^{2+} + 2\text{RCOOH} \rightarrow \text{R-C(O)-O-Fe-O-C(O)-R} + \text{H}^+$
$\text{CaCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ <p>Избыток CO_2 препятствует осаждению ионов кальция, переводит их в раствор</p>
<p>Часть кислорода затрачивается на окисление органических веществ, и его не хватает для окисления железа</p>

Примечания:

RCOOH – условное обозначение молекулы гуминовой кислоты.

R-C(O)-O-Fe-O-C(O)-R – условное обозначение железо-гумусового соединения.

L – органические или неорганические лиганды.

HL – органические кислоты, например, двухосновные: щавелевая, янтарная, лимонная, малоновая.

* деятельность бактерий может также мешать работе фильтрующих материалов, блокируя поверхность зерен загрузки слизистым слоем зооглея.

Выполненный анализ научно-технической литературы по проблеме очистки природных вод с высоким содержанием железа нацеливает на решение задачи максимального учета в технологии обработки воды ее природных особенностей. Необходимо инициировать самопроизвольно протекающие процессы выделения из воды загрязнителей; «заставить» работать на осаждение и адсорбцию сами компоненты природной воды, т. е. осуществлять эндогенные процессы. Природная вода уже содержит в своем составе «предшественников» коагулянтов и флокулянтов. Это соли железа, алюминия, кремний-кислородные соединения. Можно достичь активизации самопроизвольного выделения из воды нежелательных растворенных компонентов в виде твердой фазы при воздействии на воду излучений, электрических, магнитных полей. Известно, что даже слабые воздействия такого рода значитель-

но влияют на характер и степень физико-химических превращений в водных средах [19].

Главным условием высокого эффекта очистки рассматриваемых типов вод до нормативов питьевого качества является перевод загрязнителей в структурированный осадок, который удаляется последующим фильтрованием. Под структурой принято понимать строение вещества, характеризующееся комплексом соответствующих физических и химических свойств. Применительно к водоочистке структура осадка должна характеризоваться, прежде всего, совокупностью механических (упругоэластических) свойств. Структурно-механический фактор осадка – интегральная характеристика, которая отражает физико-химические и гидродинамические процессы, сопровождающие образование крупных частиц и их осаждение. Электрохимическое воздействие и введение сильного окислителя – озона создают условия не только для перехода ионов железа и марганца из растворенных в труднорастворимые соединения, но и для формирования структурированного (скорее квазикристаллического, чем аморфного) осадка.

При оценке качества природных вод обычно учитывается химический состав индивидуальных примесей и патогенная микрофлора исходной воды без прогнозирования возможных дальнейших изменений. Следует принимать во внимание, что природная вода – сложная гетерофазная система, находящаяся в квазиравновесном состоянии и реагирующая на все внешние воздействия. При любых обработках комплексные и коллоидные соединения, содержащие фрагменты органических молекул, могут разрушаться и вновь возникать. Недоучет этого приводит к ошибкам при разработке технологий и оборудовании для водоподготовки. К примеру, в некоторых подземных водах при увеличении концентрации озона содержание в обработанной воде ионов железа и марганца сначала снижается, а затем стабилизируется или даже временно увеличивается. На рис. 1 показано влияние концентрации озона в окислительной смеси на снижение содержания марганца в воде из скважин на примере подземной воды п. Сайга (Томская обл.).

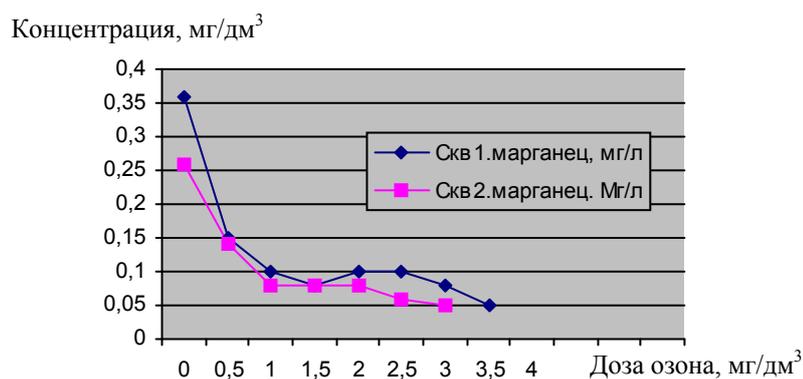


Рис. 1. Влияние дозы озона на степень удаления марганца

Температура исходной воды составляла 6 °С. Воду обрабатывали озоноз-воздушной смесью, фильтрование производили через загрузку гранодиорита (высота слоя загрузки 1,3 м, размер зерен загрузки 1,4–1,8 мм) со скоростью 10 м/ч. Сходный вид кривых получен в случаях наблюдения за изменением содержания железа при окислительной обработке воды.

Наблюдаемый вид кривых можно объяснить следующим образом. Сначала происходит окисление не связанных с органическими частицами диссоциированных ионов Fe^{2+} и Mn^{2+} и переход их в осадок в оксидных, гидроксидных, карбонатных формах. Параллельно идет разрушение гуминовых органических соединений, и появляется дополнительное количество освобо-дившихся от коллоидной защиты ионов металлов. Более высокие концентра-ции озона окисляют и их. Положительно влияет на глубину протекания реак-ций и продолжительность контакта.

Знание «группового» состава воды (т. е. качественного и количествен-ного химического состава), микробиологических характеристик с учетом их возможного взаимного влияния, а также особенностей «вторичных» парамет-ров – интегральных показателей, отвечающих этому составу (частичная и полная окисляемость, рН, Eh), позволяет оптимизировать подбор ступеней и режимов очистки воды в технологической цепочке, разработать модельную систему для описания и расчета технологических процессов, использование которых оправданно в каждой конкретной ситуации.

Только в этом случае обеспечивается завершение протекающих парал-лельно и последовательно сложных химических реакций, в результате кото-рых большинство загрязнителей-металлов переходят в осадок, а часть неме-таллов – в газообразные вещества, прежде всего, это CO_2).

Завершающим этапом очистки воды является фильтрование. Возмож-ность многократной регенерации фильтрующей загрузки создает явное пре-имущество тем способам, когда используется зернистая загрузка, в сравнении с прочими. Тканевые, мембранные менее эффективны: они недолговечны, нуж-даются в постоянном контроле, для их восстановления после заполнения части-цами осадка пористой структуры требуется дополнительное оборудование, за-частую – промывка реагентами. Все это требует подключения ручного труда, препятствует возможности автоматизации операций при работе фильтров.

Представленные теоретические выкладки и результаты эксперимен-тальных исследований легли в основу разработки устройства для очистки во-ды [20]. Авторами создана малогабаритная модульная станция, предназна-ченная для удаления растворенных форм железа, марганца, одновременно – и других тяжелых металлов, а также разнообразных органических веществ и микроорганизмов из природной, преимущественно подземной, воды. Реали-зуемая технологическая цепочка включает несколько взаимосвязанных узлов. Предусмотрена предварительная обработка воды электрическими импульса-ми, что обеспечивает деструкцию трудно поддающихся окислению и де-струкции комплексных и коллоидных веществ; дальнейшее окисление загряз-нителей кислородом (в случае высокого содержания трудно разрушающихся соединений – озоном), что создает условия для интенсификации дальнейшей очистки воды и предотвращения вторичного загрязнения. Для обеспечения

эффективного осаждения выделяющихся взвешенных частиц (преимущественно гетита FeOOH , а также других гидрогенных минералов, в состав которых входят ионы Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , OH^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} и др.) необходимо продолжительное время (от 0,5 ч и более, в зависимости от состава исходной воды, температуры и других параметров), что обеспечивается наличием соответствующего оборудования и заданием соответствующего времени пребывания обрабатываемой воды в отдельных узлах станции.

Мобильная малогабаритная станция очистки воды [20] содержит установку для очистки воды, смонтированную в блок-боксе контейнерного типа, выполненном из листовой стали. В состав установки (рис. 2) входят: электрохимический коагулятор 14, камера окисления 1, две камеры коагуляции 4 и 5, напорный фильтр 6 и накопитель чистой воды 7. Чтобы в случае малого разбора чистой воды потребителем она не подвергалась заражению микроорганизмами и для удаления тех устойчивых к деструкции загрязнителей, которые стали с запозданием, только поступив в накопитель, переходить из растворенного состояния в осадок, предусмотрена система озонирования. Она обеспечивает циркуляцию с заданной скоростью воды для насыщения озono-воздушной смесью и повторное фильтрование. Предусмотрено использование промывной воды после выделения из нее железосодержащего осадка. Сам же осадок может быть использован для получения керамического фильтрующего материала, эффективность применения которого при очистке воды показана нами ранее [2].

Очистка воды с помощью станции происходит следующим образом. Из скважины или открытого водоема подается для обработки через вентиль 3 и, проходя через сетчатый фильтр 2, освобождается от грубодисперсных частиц, а затем поступает в электрохимический коагулятор 14. Здесь начинается разрушение органических загрязнителей.

Затем вода поступает в камеру окисления 1, где активизируются процессы окисления и деструкции: из камеры 1 с помощью насоса вода поступает в эжектор, а потом снова в камеру окисления, где обогащается кислородом воздуха, необходимым для окисления низковалентных ионов и органических веществ, и освобождается от сопутствующих газов (на рис. 2 не показаны). В камерах коагуляции 4, 5 завершаются процесс окисления, деструкции и агрегирования загрязнителей, а затем вода насосом перекачивается в напорный фильтр 6. В фильтре она освобождается от осадка и направляется в накопитель чистой воды 7. Для дезинфекции воды, поступившей в накопитель чистой воды, установка содержит озонатор 8, соединенный с блоком питания 11 и фильтром для очистки воздуха 12. Внутри накопителя чистой воды расположен кавитатор, который соединен с эжектором 9 и насосом 10 в циркуляционный контур. Циркулирование воды, насыщенной кислородом и озоном, обеспечивает деструкцию всех биоорганических частиц.

К накопителю чистой воды присоединен блок разложения остаточного озона 13 для выполнения условий экологической безопасности. Материал гоптальюм, находящийся в блоке 13, хорошо разлагает остаточный озон, обладает высокой устойчивостью к разрушению при длительной эксплуатации. Гоптальюм позволяет снизить концентрацию озона в воздухе на выходе из станции ниже нормируемого показателя $0,1 \text{ мг/м}^3$.

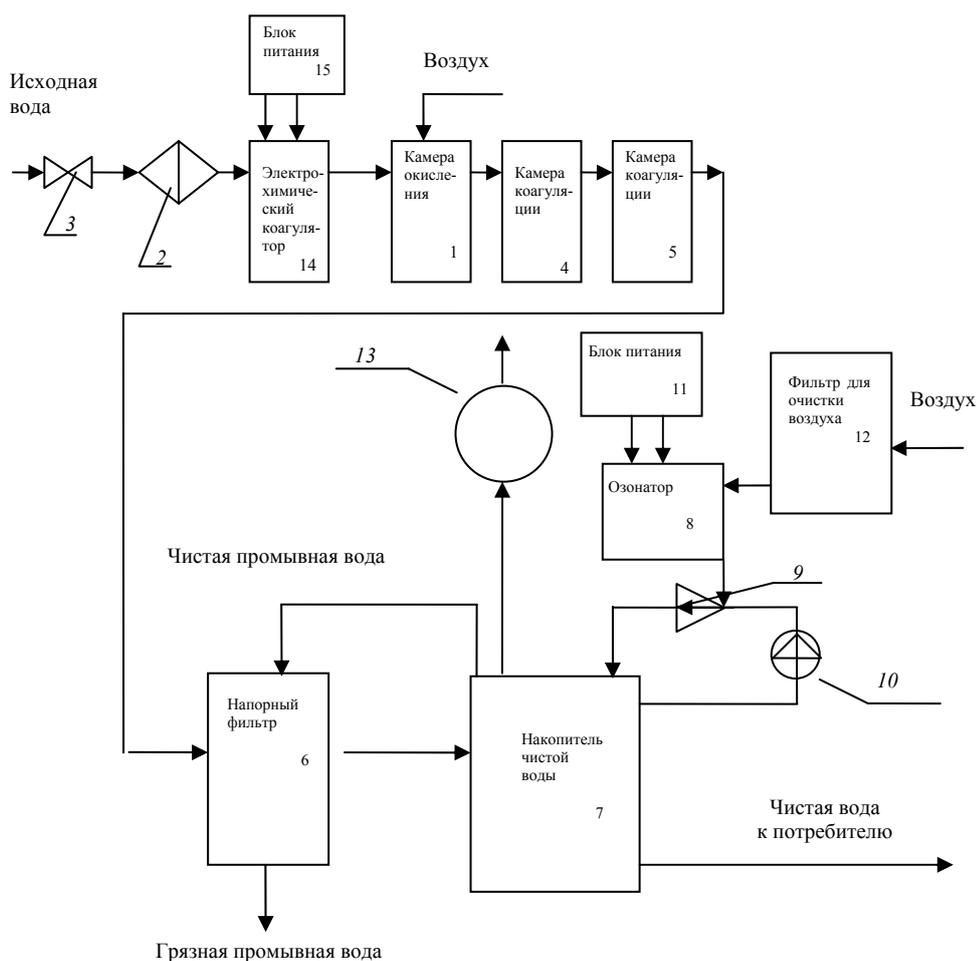


Рис. 2. Мобильная малогабаритная станция очистки воды

Для удаления загрязнителей из напорного фильтра периодически производят его промывку с последующим сбросом грязной промывной воды. Величина фильтроцикла составляет от 24 до 50 ч, что зависит от содержания загрязнителей в обрабатываемой воде. Вода для промывки поступает с помощью насоса (на рис. 2 не показан) из накопителя чистой воды. Для слива воды из всех емкостей и слива грязной промывной воды в полу блок-блока имеются отверстия.

При использовании в суровых климатических условиях пол и стены блок-блока целесообразно выполнять утепленными, например, с помощью минеральной плиты, закрытой оцинкованным листом. Для удобства обслуживания двери блок-блока могут быть выполнены двухстворчатыми, а для обеспечения подъема и спуска блок-блока при транспортировке крыша блок-блока может быть снабжена монтажными петлями. Помимо этого, станция дополнительно может быть оснащена микроконтроллером, с помощью которого можно автоматически управлять работой установки для очистки воды.

Сборка и первичное испытание станции производятся в производственных условиях, а на месте – окончательный монтаж, технологические испытания. Электрооборудование станции может работать как от сети, так и от автономного источника электропитания.

Станция прошла успешные испытания в производственных условиях. Показана высокая степень очистки воды от железа, марганца, органических загрязнителей природного и техногенного происхождения: их содержание снижается в 3–4 раза, цветность исходной воды уменьшается в 3–8 раз (табл. 2).

Таблица 2

Показатели степени очистки подземной воды на станции «Надежда» в зависимости от исходного состава (через разделитель «/» показано содержание компонента до и после очистки соответственно)

№ п/п	Показатели качества, единицы измерения	Гигиенический норматив	Скважина в Томском районе	Модельный раствор
			вода исходн./очищен.	вода исходн./очищен.
1	Запах, баллы	Не более 2	3/1	4(сероводород)/1
2	Цветность, градусы	20	15/<5	40/<5
3	pH	6–9	7,5/7,0	4,9/6,95
4	Жесткость, ммоль/дм ³	7	6,52/4,76	0,5/0,5
5	Окисляемость перманганатная, мгО/дм ³	5	1,14/0,5	16,4/0,9
6	Азот аммонийный (N), мг/дм ³	<2	0,42/0	16,0/0
7	Нитраты (по NO ₃ ⁻), мг/дм ³	<45	0,1/0,1	10,4/0,60
8	Нитриты, мг/дм ³	<3	0,003/0	
9	Сульфаты, мг/дм ³	500	7,5/7,5	
10	Хлориды, мг/дм ³	350	6,2/6,2	
11	Железо, мг/дм ³	0,3	1,65/0,13	9,1/0,12
12	Марганец, мг/дм ³	0,1	0,28/0	0,40/0,10
13	Сухой остаток, мг/дм ³	1000	407/352	214,0/148,2
14	Кремний (по Si), мг/дм ³	10	11,0/9,0	14,6/10
15	Кальций, мг/дм ³	от 30 до 140	103,2/88,2	
16	Магний, мг/дм ³	от 5 до 85	16,4/4,3	
17	Щелочность, ммоль/дм ³	0,5...6,5	6,95/6,25	
18	Цинк, мг/дм ³	<3	3x10 ⁻³ /1,7x10 ⁻³	
19	Медь, мг/дм ³	<1	7x10 ⁻⁴ /3x10 ⁻⁴	
20	Свинец, мг/дм ³	<0,03	2.2x10 ⁻⁴ /1,0x10 ⁻⁴	
21	Хром, мг/дм ³	<0,05	0,02/<0,05	
22	Ртуть, мг/дм ³	<0,0005	5x10 ⁻⁵ /3x10 ⁻⁵	
23	Фенол, мг/дм ³	<0,001	<0,001/<0,001	

Достоинством станции для очистки воды является мобильность и длительное сохранение высоких санитарно-гигиенических показателей качества очищенной воды при малом расходе, возможность очистки высокоцветных и маломинерализованных вод с высоким содержанием органических веществ.

Потенциальными областями применения разработки являются: серийные автоматические безреагентные установки очистки питьевой воды производительностью от 1 до 6 м³ в сутки для локального использования в сельских школах, столовых, больницах; мобильные автоматические безреагентные установки для вахтовых поселков геологов, нефтяников, газовиков; установки для размещения на территориях, пострадавших от чрезвычайных ситуаций, где нарушено водоснабжение.

Преимущества разработанной технологии:

- универсальность оборудования;
- высокая эффективность удаления железа и одновременно сопутствующих загрязнителей;
- отсутствие дорогостоящих расходных компонентов;
- широкий диапазон объемов обрабатываемой воды;
- компактность оборудования, возможность перемещения с помощью транспортных средств (автомобиль, вездеход, вертолет) при необходимости на новые места;
- возможность полной автоматизации процесса водоочистки;
- простота обслуживания;
- надежность работы и долговечность оборудования;
- уничтожение микроорганизмов большинства видов (бактерий, вирусов);
- низкая энергоемкость, минимальное количество отходов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дзюбо, В.В. Водоочистные технологии и оборудование для систем водоснабжения населенных пунктов Западно-Сибирского региона / В.В. Дзюбо // Проектирование и строительство в Сибири. – 2004. – № 4(22). – С. 4–7.
2. 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.
3. Дзюбо, В.В. Оценка ресурсов подземных вод Западно-Сибирского региона, условий их формирования и значимость для водоснабжения населения / В.В. Дзюбо, Л.И. Алферова // Водоснабжение и канализация. – 2012. – № 7–8. – С. 8–13.
4. Труфанов, А.И. Формирование железистых подземных вод / А.И. Труфанов. – М. : Наука, 1982. – 126 с.
5. Видяйкина, Н.В. Химический состав подземных вод, используемых сельским населением в питьевых целях в Томской области и Ханты-Мансийском автономном округе / Н.В. Видяйкина // Проблемы гидрогеологии, инж. геологии и гидрогеоэкологии: материалы Всерос. науч. конф., посвящ. 80-летию кафедры гидрогеологии, инж. геологии и гидрогеоэкологии ТПУ. – Томск: НТЛ, 2011. – С. 318–325.
6. Кульский, Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды / Л.А. Кульский. – Киев : «Наукова думка», 1980. – 560 с.
7. Николадзе, Г.И. Обработка подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения / Г.И. Николадзе // Водоснабжение и санитарная техника. – 1999. – № 5. – С. 2–4.

8. Николадзе, Г.И. Технология очистки природных вод / Г.И. Николадзе. – М. : Высшая школа, 1987. – 480 с.
9. *Водоснабжение*: пособие по модернизации / Н.П. Фрог, С.А. Шидловский, М.А. Шидловский [и др.]. – М. : Обнинск: Фабрика офсетной печати, 2011. – 192 с.
10. 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.
11. Орлов, В.А. Озонирование воды / В.А. Орлов. – М. : Стройиздат, 1984. – 88 с.
12. Гончарук, В.В. Наночистка в питьевом водоснабжении / В.В. Гончарук, А.А. Кавицкая, М.Д. Скильская // *Химия и технология воды*. – 2011. – Т. 33. – № 1. – С. 63–94.
13. *Устройство для комплексной очистки воды*: пат. на полезную модель № 96571 Рос. Федерация / Н.В. Кириллова, О.В. Бакина, С.Г. Псахье, Н.В. Сваровская, М.И. Лернер ; заявл. 22.01.2014; опубл. 27.06.2014.
14. *Устройство электрохимической очистки воды*: пат. на полезную модель РФ №120964 Рос. Федерация / С.А. Шемчук, Н.П. Красильников; заявл. 29.12.2011; опубл. 10.10.2012.
15. Яворовский, Н.А. Очистка воды с применением электроразрядной обработки / Н.А. Яворовский, В.Д. Соколов, Ю.Л. Сколубович, И.С. Ли // *Водоснабжение и санитарная техника*. – 2000. – № 1. – С. 12–14.
16. *Станция электрокоагуляционной подготовки питьевой воды с оборотной системой утилизации промывной воды*: пат. на полезную модель №109133 Рос. Федерация / 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.
17. *Установка для очистки и кондиционирования воды*: пат. на полезную модель № 99481 Рос. Федерация / М.С. Краснов, Е.В. Вихирев, С.Г. Артемьев; заявл. 15.06.2010; опубл. 20.11.2010.
18. *Мобильная малогабаритная станция комплексной очистки воды*: пат. на полезную модель № 94570 Рос. Федерация / С.Ю. Ерошев; заявл. 24.02.2010; опубл. 27.05.2010.
19. Горленко, Н.П. Низкоэнергетическая активация дисперсных систем : монография / Н.П. Горленко, Ю.С. Саркисов. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. – 264 с.
20. *Мобильная малогабаритная станция очистки воды*: пат. на полезную модель № 142624 Рос. Федерация / О.Д. Лукашевич, Е.И. Патрушев, Н.Е. Патрушева, С.А. Филичев; заявл. 04.02.2014; опубл. 27.06.2014.

REFERENCES

1. Dzubo V.V. Vodochistnyye tehnologii i oborudovanie dlya sistem vodosnabzheniya naselennih punctov Zapadn-Sibirskogo regiona. [Water treatment technology and equipment for the water supply of settlements of the West Siberian region]. *Proektirovanie i stroitelstvo v Sibiri*. 2004. No. 4(22). Pp. 4–7. (rus)
2. 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 drinking water for improving its ecological safety (a West Siberia case study)]. Tomsk : TSUAB Publ., 2006. 349 p. (rus)
3. Dzubo V.V., Alferova L.I. Otsenka resursov podzemnyh vod zapadbo-sibirskogo regiona, uslovii ih formirovaniya i znachimost dlya vodosnabzheniya naseleniya [Assessment of West Siberian groundwater resources, their formation, and significance]. *Vodosnabzhenie i kanalizatsiya*. 2013, No. 7–8. Pp. 8–13. (rus)
4. Trufanov A.I. Formirovanie zhelezistykh podzemnyh vod [Formation of ferrous groundwater]. Moscow : Nauka Publ., 1982. 126 p. (rus)
5. Vidyakina N.V. Himicheskii sostav podzemnyh vod, ispolzuemykh sel'skim naseleniem v pit'evykh tselyakh d Tomskoi oblasti i Hanti-mansiiscom avtonomnom okruge. [Chemical composition of groundwater used by Tomsk region and the Khanty-Mansi Autonomous Area for drinking]. *Proc. All-Rus. Sci. Conf. 'Problems of Hydrogeology, Engineering Geology and Hydro-Geoecology'*. Tomsk : NTL Publ., 2011. Pp. 318–325. (rus)

6. *Kulskij L.A.* Teoreticheskie osnovy i tekhnologiya kondicionirovaniya vody. [Theoretical bases and technology of water conditioning.] Kiev : Naukova Dumka, 1980. 560 p. (rus)
7. *Nikoladze G.I.* Obrabotka podzemnyh vod dlya hozyajstvenno-pitevogo vodosnabzheniya [Treatment of groundwater for drinking water supply]. *Water Supply and Sanitary Technique*, 1999. No. 5. Pp. 2–4. (rus)
8. *Nikoladze G.I.* Tekhnologiya ochistki prirodnyh vod [Natural water treatment technology]. Moscow : Vysshaya Shkola Publ., 1987. 480 p. (rus)
9. *Frog N.P., Shidlovskij S.A., Shidlovskij M.A.* Vodosnabzhenie: posobie po modernizacii [Water supply: A guide to the modernization]. Moscow ; Obninsk : Fabrika ofsetnoj pechati, 2011. 192 p. (rus)
10. *Draginskij V.L., Alekseeva L.P.* Ochistka podzemnyh vod ot soedinenij zheleza marganca i organicheskikh zagryaznenij. [Purification of groundwater from iron, manganese compounds and organic impurities]. *Water Supply and Sanitary Technique*, 1997. No. 12. Pp. 16–19. (rus)
11. *Orlov V.A.* Ozonirovanie vody [Ozonation of water]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1984. 88 p. (rus)
12. *Goncharuk V.V., Kavickaya A.A., Skilskaya M.D.* Nanofiltraciya v pitjevom vodosnabzhenii [Nanofiltration in drinking water supply]. *J. Water Chemistry and Technology*, 2011. V. 33. No. 1. Pp. 63–94. (rus)
13. *Kirillova N.V., Bakina O.V., Psahe S.G., Svarovskaya N.V., Lerner M.I.* Ustrojstvo dlya kompleksnoj ochistki vody [Integrated water treatment apparatus]. UMP Rus. Fed. N 96571. Appl. 22. 01. 2014, publ. 27. 06. 2014. (rus)
14. *Shemchuk S.A. Krasilnikov N.P.* Ustrojstvo ehlektrohimicheskoj ochistki vody [Electrochemical water treatment apparatus]. UMP Rus. Fed. N 120964. Appl. 29.12.2011, publ. 10.10.2012. (rus)
15. *Yavorovskij N.A., Sokolov V.D., Skolubovich Yu.L., Li I.S.* Ochistka vody s primeneniem ehlektrozryadnoj obrabotki. [Water purification using a discharge machining]. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2000. No. 1. Pp. 12–14. (rus)
16. *Demidovich V.N., Skrylev S.A., Makarov V.V., Dobrodeev Yu.E., Kuchumov A.F., Shibleva L.G.* Stanciya ehlektrokoagulyacionnoj podgotovki pitevoj vody s oborotnoj sistemoy utilizacii promyvnoj vody [Electrocoagulating drinking water treatment with recirculated water system]. UMP Rus. Fed. N 109133. Appl. 13. 04. 2011, publ. 10.10.2011. (rus)
17. *Krasnov M.S., Vihirev E.V., Artemev S.G.* Ustanovka dlya ochistki i kondicionirovaniya vody [Water treatment and conditioning apparatus]. UMP Rus. Fed. N 99481. Appl. 15.06.2010, publ. 20.11.2010. (rus)
18. *Eroshchev S.Yu.* Mobilnaya malogabaritnaya stanciya kompleksnoj ochistki vody [Mobile small-scale station for integrated water purification]. UMP Rus. Fed. N 94570. Appl. 24.02.2010, publ. 27.05.2010. (rus)
19. *Gorlenko N.P., Sarkisov Yu.S.* Nizkoenergeticheskaya aktivaciya dispersnyh sistem. Monografiya [Low-energy activation of dispersed systems. Monograph]. Tomsk, 2011. 264 p. (rus)
20. *Lukashevich O.D. Patrushev E.I. Patrusheva N.E. Filichev S.A.* Mobilnaya malogabaritnaya stanciya ochistki vody [Mobile small-scale water treatment plant]. UMP Rus. Fed. N 142624. Appl. 04.02.2014, publ. 27.06.2014. (rus)