

УДК 628.16

**ОСНОВНЫЕ ПУТИ И РЕШЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ
МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ***канд. техн. наук, доц. В.Д. ЮЩЕНКО, Е.С. ВЕЛЮГО**(Полоцкий государственный университет)**Е.И. РАШКЕВИЧ, В.П. ПРОСОЛОВ**(Витебское областное коммунальное унитарное предприятие
водопроводно-канализационного хозяйства «Витебскоблводоканал»)**С.В. СЕДЛУХА**(Общество с ограниченной ответственностью «ЗападВодСтрой», Витебск)*

В статье описываются геохимические процессы, особенности формирования и миграции железа, марганца, азотосодержащих веществ в подземных водах, а также природные и техногенные факторы загрязнения природных вод. Приведены методы и схемы очистки подземных вод. Авторами предложены варианты применения аэрационных методов обработки подземных вод при проектировании станций обезжелезивания.

Ключевые слова: *подземные воды, качество воды, методы обезжелезивания, аэрационные методы, проектирование станций водоподготовки.*

Введение. Водоснабжение малых населенных пунктов в Беларуси осуществляется с помощью скважинных водозаборов из подземных источников.

На начальном этапе выполнения проектных работ по станциям водоподготовки необходимо выполнить по источнику водоснабжения предварительные микробиологические, химические и физические исследования состава воды. В дальнейшем, на основании оценки качества обрабатываемой воды и нормативных документов [1], следует предварительно определить методы и сооружения водоподготовки с уточнением результатов инженерных изысканий, выполняемых непосредственно у подземного источника водоснабжения [2]. Для обеспечения потребителя водой необходимо применять такую технологию ее обработки, которая позволит достичь требуемых результатов.

Проблемой прямого использования подземных вод для хозяйственно-питьевых нужд является наличие в них повышенного содержания железа, а в некоторых случаях марганца, аммиака, нитритов и нитратов [3; 4].

Поскольку химический состав подземных вод не одинаковый, а также показатели водной среды, такие, как величины рН и окислительно-восстановительный потенциал Eh перечисленных загрязнений, имеют различное значение, то одновременное удаление их из воды является сложным процессом. Зная порядок и условия окисления, а также взаимное влияние всех видов загрязнений, возможно определить их последовательность удаления или снижения в водной среде.

Цель исследований – проведение анализа химического состава подземных вод и определение загрязняющих веществ, влияющих на процессы обезжелезивания и обезмарганцевания; описание путей поступления в подземные воды загрязняющих веществ; краткое рассмотрение основных методов и технологических схем удаления перечисленных загрязняющих веществ с подбором наиболее эффективного, желательного экономичного, метода водоподготовки для малых населенных пунктов с учетом опыта эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях.

Объект исследования – системы очистки подземных вод малых и средних населенных пунктов Республики Беларусь.

Предмет исследования – технологические процессы очистки воды от железа с сопутствующими загрязняющими веществами, такими как марганец, аммиак, нитриты и нитраты.

Основная часть. На первом этапе рассмотрим подземные воды, содержащие преимущественно высокие значения растворенного железа.

Основной источник поступления железа в водную среду – это процесс химической эрозии горных пород, который влечет за собой их механическое разрушение с последующим растворением. Содержащиеся в природных водах органические и минеральные вещества в следствие взаимодействия образуют разнообразие форм железа в растворенном, коллоидном или взвешенном виде.

Для железа характерны двухвалентные и трехвалентные формы соединений, которые присутствуют в воде с разной степенью окисления в растворенном либо нерастворенном состоянии. Трехвалентное железо является более сильным окислителем. Одними из факторов наличия той или иной формы железа являются значения водородного показателя и окислительно-восстановительного потенциала в воде. Баланс соединений железа находится в зависимости от значений рН, окислительно-восстановительного потенциала Eh. Гидроксиды и оксиды, растворенные органические и неорганические вещества природных вод, которые находятся в ионной форме, могут представлять собой соединения растворенного железа. При этом существует прямая зависимость: чем выше величины рН и Eh, тем меньше общее содержание растворенного двухвалентного железа.

Осаждению железа содействуют щелочные и окислительные условия, в то время как кислые и восстановительные – наоборот растворяют. Свободное железо быстро фиксируется в виде гидроксидов и оксидов, замещает магний и алюминий и образует комплексы с химическими лигандами.

Высокая концентрация железа прослеживается в болотах, где оно располагается в виде гуматов (соли гуминовых кислот).

Значение общего железа зависит от сезонных изменений. Как правило, в поверхностных источниках значительное повышение концентрации железа в придонных слоях происходит из-за застоя воды в зимний и летний период. Смешение водных масс в осенне-зимнее время сопутствует окислению двухвалентного железа в трехвалентное с последующим образованием гидроксида железа (III) [4]. Установлено, что в озера железо попадает с проточной водой, где с помощью кислорода окисляется вплоть до трехвалентного железа с последующим образованием в нейтральных или щелочных условиях нерастворимой формы $\text{Fe}(\text{OH})_3$, которая оседает на дно. Тут из-за полного отсутствия кислорода и присутствия биогенного углекислого газа трехвалентное железо восстанавливается до двухвалентного, растворимого в воде [3; 5].

Высокая концентрация растворенного железа наблюдается в подземных водах с невысокими значениями pH и низкими, даже отрицательными, Eh. Объясняется это низкой концентрацией кислорода в жидкости и отсутствием прямого или косвенного контакта с атмосферой. В подземной воде преобладающей формой содержания железа является бикарбонат закиси (двууглекислое железо – $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$). Это соединение является малоустойчивым и превращается в гидрат закиси $\text{Fe}(\text{OH})_2$ в результате реакции гидролиза.

Причина накопления Fe^{2+} в подземной воде заключается в том, что уже в первом водоупоре слагаемых пород исчезает кислород, в то время как при нейтральных значениях величины pH уменьшается концентрация гидроксильных ионов OH^- , которые необходимы для осаждения гидрата закиси железа. При этом будет происходить увеличение концентрации CO_2 со снижением величины pH системы. При наличии кислорода воздуха закиси железа подвергаются полному окислению с последующим переходом в различные нерастворимые формы.

Для станций водоподготовки малой и средней производительности наиболее рентабельным и наиболее часто применяемым способом водоподготовки является безреагентный метод очистки воды от железа упрощенной аэрацией и фильтрованием на безнапорных или напорных фильтрах.

Метод обезжелезивания воды упрощенной либо интенсивной аэрацией является основным от любых соединений железа, которые присутствуют в природной воде при pH = 6...8, кроме его комплексной формы.

В условиях пониженного значения величины pH, характерного для болотных вод, протекают окислительные реакции дисульфида железа (минерал пирит) до его сульфата [3–5]:



При $\text{pH} > 3,5$ двухвалентное железо существует в водном растворе только в виде комплекса, постепенно переходящего в гидроксид.

В области нейтральных величин pH и значений $\text{Eh} > 100$ мВ под воздействием кислорода протекает окисление железа Fe^{2+} в Fe^{3+} :



Заключительной стадией процесса является реакция гидролиза, приводящая к образованию красно-бурого осадка гидроксида железа (Fe^{3+}):



При $\text{pH} > 8$ железо (Fe^{2+}) может существовать в виде аквакомплекса, претерпевая окисление через стадию образования железа (Fe^{3+}):



Но основной формой при высоких значениях pH все же является $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

В подземных водах марганец зачастую содержится совместно с железом, хотя количество его значительно ниже. Поэтому если вода содержит железо, то с большей вероятностью там находится и марганец. Но не наоборот. Марганец может присутствовать в воде и без содержания железа. Когда подземные воды выходят на поверхность, где происходит контакт с воздухом, нарушаются равновесные состояния растворенных веществ. В результате удаления углекислоты и поглощения кислорода происходит распад бикарбонатов и повышение pH воды.

Марганец по распространенности среди других элементов занимает четырнадцатое место. Нечасто встречается в чистом виде, зато входит в состав большого числа минералов. Некоторые кислые и железистые руды также содержат марганец.

В природе химический элемент марганец мало распространен. Он содержится в почве, воде, растениях, в организме людей и животных. В воду марганец попадает из минералов, а также от разложившихся животных и сине-зеленых растений, содержащихся в воде. В подземные источники большое содержание солей марганца поступает вымыванием из почвы [7]. Марганец находится преимущественно в форме бикарбоната двухвалентного марганца $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$, хорошо растворимого в воде.

В природных водах миграция марганца протекает в разных формах: комплексных соединений с сульфатами и бикарбонатами, коллоидной, ионной – в поверхностных водах осуществляется переход в высоковалентные оксиды, выпадающие в осадок, комплексных соединений с органическими веществами (органическими кислотами, аминами, гумусовыми веществами и аминокислотами), сорбированных соединений (марганецсодержащих взвесей минералов, вымытых водами).

Количество марганца в воде, как и железа, постоянно колеблется в зависимости от сезона: содержание металла зимой и летом больше, а весной и осенью наоборот. Но также имеются другие условия, от которых зависит концентрация марганца в природной воде: температура, концентрация кислорода, значения величины pH, поглощение или, наоборот, выделение его водными организмами, влияние сточных вод и т.д.

В химических соединениях валентность марганца изменяется в пределах 2–7, увеличение степени окисления становится причиной возрастания окислительных и кислотных характеристик марганца. Характерные степени окисления марганца: 0, +2, +3, +4, +6, +7 (степени окисления +1, +5 мало характерны).

Все соединения Mn (+2) относятся к восстановителям. Оксид марганца имеет восстановительные свойства, серо-зеленого цвета, в воде и щелочах не растворяется, зато отлично растворяется в кислотах.



При окислении на воздухе пассивируется. Порошкообразный марганец сторае в кислороде:



Гидроксид марганца Mn(OH)₃ в воде не растворяется, по цвету белое вещество. Образование Mn (+4) может быть и окислителем, и восстановителем.

Гидроксиды Mn(OH)₂ и Mn(OH)₃ имеют основной характер, MnO(OH)₂ – амфотерный. Для окисления марганца необходимы более высокие значения pH и Eh, нежели для железа.

Аэрационные методы, которые применяются обычно при обезжелезивании воды, могут быть использованы для удаления марганца, а также и в случае одновременного присутствия в воде марганца и железа.

Отличительная черта данного метода состоит в том, что при аэрации из воды удаляется доля углекислоты и происходит насыщение воды кислородом. При этом увеличивается pH воды, что содействует процессу окисления и гидролиза железа и частично марганца с образованием соответствующих гидроокисей железа и марганца. Образовавшееся соединение окиси марганца (IV) является катализатором для последующего окисления и принимает участие в процессе.

Кроме того, необходимо принимать во внимание, что находящийся в подземных водах Mn²⁺ весьма долго окисляется до Mn³⁺ и Mn⁴⁺ с помощью аэрации или иными окислителями. Темп довольно стремительного автоокисления двухвалентного марганца находится в зависимости от pH воды. Для окисления марганца кислородом воздуха pH должно быть не менее 8, а интенсивный переход Mn²⁺ в Mn³⁺ и Mn⁴⁺ осуществляется при pH > 9,5.

Присутствие в подземной воде органических соединений определяет разнообразие ее состава [6]. В анаэробных условиях происходит микробиологическое разложение животных и растительных остатков (обычно выражается общей формулой CH₂O), причем часть из них растворяется в воде.

Если в воде имеется какая-то концентрация растворенного кислорода, то будет происходить разложение органики, сопровождающее процесс минерализации веществ с образованием:



То есть в воде произойдет увеличение концентрации свободной углекислоты (процесс противоположный фотосинтезу для поверхностных вод).

Другая часть органических веществ может трансформироваться в новые соединения. Например, гумусовые вещества, попадающие в подземную воду, разлагаются на гуминовые кислоты и фульвокислоты, которые уже участвуют в образовании комплексов многих металлов.

Величина, характеризующая содержание в воде органических и минеральных веществ, при воздействии в определенных условиях одним из сильных химических окислителей, называется окисляемостью. Обусловливается присутствием органических и некоторых легкоокисляющихся неорганических примесей, таких, как железо (II), сульфиты, сероводород и др.

Источники окисляемости воды делятся на два типа: природные и антропогенные. К первому типу относятся различные процессы внутри водоемов и поступления извне, выпадения осадков и состав прилегающей почвы. Ко второму типу можно отнести бытовые, сельскохозяйственные и промышленные отходы, которые сливаются в реки и попадают инфильтрацией в подземные воды (как правило, скважины для забора подземных вод представляют собой инфильтрационные водозаборы).

Существует несколько видов окисляемости воды: перманганатная, бихроматная, йодатная, цериевая. Последние два вида окисляемости для оценки природных вод применяют очень редко, в основном для определения содержания органических веществ в воде промышленных и медицинских производств.

Для природных малозагрязненных вод рекомендовано определять перманганатную окисляемость (П), в более загрязненных водах определяют, как правило, бихроматную окисляемость (ХПК). Следует также отметить, что именно перманганатная окисляемость является единственным показателем из всех ее видов, регламентиру-

ющим качество питьевой воды [1]. Для водных поверхностных проток в паводковый период перманганатная окисляемость может быть до 60 и выше, а в болотных водах даже до 400 мгО₂/дм³. В подземной воде перманганатная окисляемость (П) может колебаться от 2–15 мгО₂/дм³ и обычно свыше 4-х указывает на ее загрязнение посторонними примесями, в основном органического и антропогенного характера.

В грунтовых водах окисляемость зависит от глубины их залегания. При этом, как и все остальные параметры, окисляемость зависит от периода года. Характер сезонных колебаний определяется, с одной стороны, гидрологическим режимом и зависящим от него поступлением органических веществ с водосбора, с другой – гидробиологическим режимом.

Подземные воды содержат меньшую окисляемость, чем поверхностные. Чем больше в воде находится продуктов разложения живой и неживой природы, тем выше окисляемость воды. Как правило, органические вещества, находящиеся в воде, не наносят вреда жизни и здоровью человека, но в присутствии марганца и железа трудно поддаются фильтрации, препятствуют обеззараживанию и образуют побочные элементы, отрицательно влияющие на эндокринную и пищеварительную систему человека.

Процесс дегазации и окисления растворенных в жидкости веществ аэрацией с последующей фильтрацией является одним из самых эффективных методов очистки воды от органических примесей и газов.

В подземных водах не редкость присутствие азотосодержащих веществ (соли аммония NH₄⁺, нитраты NO₃⁻ и нитриты NO₂⁻), что указывает на содержание в воде органических веществ животного происхождения. Образуются эти соединения в воде преимущественно в результате разложения мочевины и белков, поступающих в нее с бытовыми сточными водами.

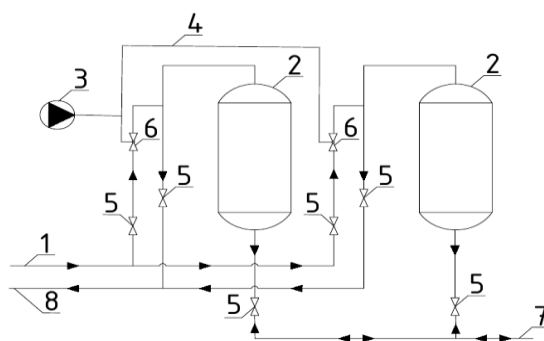
Общий аммонийный азот состоит из суммы аммония и аммиака, присутствующих в природных водах. Количество данных форм зависит от жесткости и pH воды: при pH > 8 вода содержит ионы аммония, при pH > 11 – ионы аммиака, при 8 < pH < 11 – обе формы. Изначально разлагается аммиак (аммонийный азот), являющийся признаком свежего фекального загрязнения (коммунальные очистные сооружения, отстойники промышленных отходов, животноводческие фермы, скопления навоза, азотных удобрений и др.).

В природной воде ионы аммония окисляются бактериями Nitrosomonas и Nitrobacter до нитритов и нитратов. Если в воде присутствует аммиак, и отсутствуют нитраты, то вода была загрязнена органическими веществами относительно недавно. Наиболее известным способом обработки воды с такими загрязнениями является аэрация. Присутствие в воде нитратов в отсутствии аммиака служит показателем более давнего органического фекального загрязнения, и следовательно, вода прошла частичное или полное самоочищение.

Кроме аэрации, при больших концентрациях нитритов и нитратов в исходной воде, часто применяется метод ионного обмена с применением натрий-хлорионирования. Но есть такой недостаток, как увеличение количества хлор-ионов и натрий-ионов уже в очищенной воде.

Для снижения затрат на очистку воды необходимо смешивать фильтрат с основным потоком исходной воды в определенном соотношении. В последнее время часто используется метод обратного осмоса.

Результаты и обсуждения. На основании опыта проведенных исследований и использования установок водоподготовки в Витебской области [8; 9], можно предложить при проектировании станций обезжелезивания следующие варианты применения аэрационных методов обработки подземных вод (рисунок 1).



- 1 – подача исходной воды из подземного источника; 2 – напорные фильтры; 3 – компрессор;
4 – трубопроводы сжатого воздуха; 5 – запорные устройства; 6 – смесительные вставки (как вариант, эжектора);
7 – фильтрат или подача промывочной воды; 8 – трубопровод отвода промывочной воды

Рисунок 1. – Принципиальная схема упрощенной или интенсивной аэрации артезианских вод

1. Метод упрощенной аэрации используется для большинства станций водоподготовки населенных мест при местном превышении железа, желательного до 5 мг/дм³. Причем опыт проектирования и реализации данного варианта, если загрязнителем является только железо, в основном положительный. Экспериментально подбирается объем загрузки фильтров, степень их аэрации, и определяются условия регенерации загрузки, часто в виде обратной промывки (может применяться и водо-воздушная). Загрузка фильтров состоит из песка или его смеси

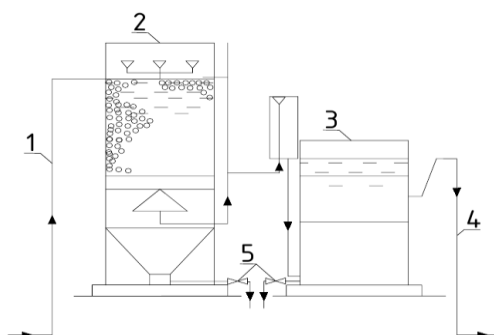
с модифицированными материалами, например, сорбентами (часто используются сорбенты АС или ОДМ-2ф), а подача воздуха на окисление железа производится эжекторами или компрессором обычно в соотношении 3–4:1 м³ воздуха к 1 м³ воды [9].

2. При «сухом фильтровании» процесс происходит аналогично методу упрощенной аэрации, но при меньших концентрациях железа в исходной воде (до 3–4 мг/дм³), а также концентрациях аммонийных солей до 1,5 мг/дм³. Гряземкость загрузки принимается порядка 50–70 г/м³. Сущность метода заключается в фильтровании водо-воздушной эмульсии через сухую (незатопленную или полужатопленную) фильтрующую загрузку путем подачи значительного количества воздуха с последующим отсосом из поддонного пространства. В поровых каналах загрузки образуется турбулентный режим движения смеси, способствующий молекулярному контакту воды с поверхностью зерен, на которых формируется плотная адсорбционно-каталитическая пленка из соединений железа и марганца, если последний присутствует в исходной воде. Водо-воздушное соотношение зависит от концентраций загрязнений и составляет 3–5:1.

Адсорбционно-каталитическая пленка на поверхности зерен загрузки состоит из сидерита, гетита, гематита и имеет плотную структуру в 4–5 раз меньше, чем при упрощенной аэрации. Вследствие этого, в фильтрах темп прироста потерь напора ниже, а продолжительность фильтроцикла выше и достигает 50–75 кг загрязнений на 1 м³ загрузки. Интенсивная аэрация с соотношением 5 м³ воздуха к 1 м³ воды и более, которая устанавливается индивидуально в каждом конкретном случае, осуществляется воздухом или озоном, причем лучше использовать компрессоры, чем эжекторы.

3. В 90-х годах прошлого века в Республике Беларусь стали применять биохимические технологии очистки подземных вод с использованием микроорганизмов биологически активной загрузки (БАЗ), состоящей, прежде всего, из различных видов железо- и марганцовокислых бактерий. Метод получил развитие как в реконструкции существующих станций напорного и безнапорного типа, так и в строительстве новых и является одним из современных направлений, повышающих эффективность удаления железа при наличии марганца и растворенных газов в скорых фильтрах [8]. У типичных представителей железо- и марганцовокислых бактерий родов *Leptothrix*, *Metallogenium*, *Siderocapsa* и др., развивающихся в пресных водах с нейтральной или слабощелочной средой, окисление железа и марганца происходит в результате взаимодействия выделяющейся перекиси водорода с ионами металлов (перекисный механизм). Активная реакция воды pH и окислительно-восстановительный потенциал Eh могут оказывать существенное влияние на развитие железобактерий, поэтому при использовании биотехнологий необходимо контролировать стабильность воды, что обычно не предусмотрено на станциях обезжелезивания. Одновременно происходят и физико-химические процессы, в основе которых лежит процесс сорбции, включающий механизм связывания соединений металлов внеклеточными экзополимерами с образованием биопленок, слизистых чехлов, капсул, нитей, т.е. механизм накопления оксидов железа включает в себя процессы как биологической природы (окислительные), так и небиологической (сорбционные).

В сущности, биотехнология обработки воды представляет собой два противоположных процесса: биологическое окисление и механическое фильтрование. Если процессы происходят в одном сооружении (например, скором фильтре), то ясно, что это не может быть решено оптимальным образом без ущерба одному из них. Поэтому в последнее время при проектировании и строительстве новых станций (установок) обезжелезивания воды рекомендуются двухступенчатые схемы удаления этих соединений в безнапорном варианте, т.е. разделение процессов биоокисления и фильтрования (рисунок 2).



1 – подача исходной воды из подземного источника; 1 – биореактор вертикального типа;
3 – скорые фильтры с плавающей загрузкой; 4 – фильтрат; 5 – отвод промывной воды и опорожнение фильтров

Рисунок 2. – Принципиальная схема биохимической обработки подземных вод

Предполагается обработку воды сначала проводить в аэрационной колонне – биореакторе – часть которой заполнена элементами со значительной активной поверхностью для роста биомассы, а уже затем направлять воду на фильтрование. В биореакторе предусматривают усиленную аэрацию-дегазацию исходной воды с проведением окисления железа в нем. Последующее фильтрование производят на фильтрах с плавающей загрузкой.

Принципиальная схема биохимической обработки подземных вод обеспечивает наиболее устойчивую и эффективную работу станции в широком диапазоне состава обрабатываемой воды с включением биологических процессов окисления железа, марганца и эффективного удаления растворенных газов (диоксида углерода, сероводорода и др.), а также соединений азотной группы.

Данный метод является практически универсальным, в т.ч. и для обработки воды сложного состава. К недостаткам можно отнести высокую стоимость и сложность в эксплуатации.

4. Если в воде кроме железа присутствуют еще и другие загрязнители, то необходимо проводить интенсивную аэрацию подземной воды, желательнее устройством отдельного напорного аэратора перед фильтрами. В качестве загрузки фильтров применяются песок, модифицированные материалы или их совместные отдельные слои. Например, песок + сорбент АС в пропорции 1:1 по высоте при удалении железа.

Если в воде присутствует еще и марганец, то дополнительно применяется и сорбент МС (допустим, в соотношении по высоте – 1,0:0,8:0,2), может быть песок + пиролюзит.

Для удаления аммонийного азота или солей возможно применение дополнительных методов обработки воды. Например, используется промежуточная емкость с устройством вентиляции (примерно ≈ 50 –60% от часового расхода воды, но не менее 3 м³), в которую подается сжатый воздух для отдувки аммиака или устанавливается дополнительная аэрационная колонна, с дальнейшей установкой второй ступени фильтров с загрузкой из активированного угля (особенно после резервуара), сорбентов (клиноптилолит-цеолиты) или их смеси. К интенсивной аэрации воды сложного состава дополнительно могут использоваться и специальные окислители, которые интенсифицируют процессы окисления различных загрязнителей, например, марганец и аммонийные соли. В качестве реагентных окислителей используются опять-таки озон или гипохлорит натрия (калия).

Заключение. На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Выбор метода очистки зависит от исходной концентрации удаляемых соединений и наличия сопутствующих загрязнений. При содержании железа и марганца в воде для станций малой и средней производительности наиболее рентабельным и наиболее часто применяемым способом водоподготовки является безреагентный метод очистки воды упрощенной аэрацией и фильтрованием на безнапорных или напорных фильтрах.

2. Проанализировав причины и механизм миграции загрязнений в водоносный горизонт можно сделать вывод, что формы и количество содержащихся в воде загрязнений зависят от температуры, концентрации кислорода, значения величины рН и Eh, влияния сточных вод и т.д. Кроме того, количество загрязнений в воде, постоянно колеблется в зависимости от сезона: содержание металла зимой и летом больше, а весной и осенью наоборот.

3. Анализ возможных методов и технологических схем удаления загрязнений, основанный на проведенных исследованиях и эксплуатации установок водоподготовки в Витебской области, показывает, что при сложном составе подземных вод необходимо использовать дополнительно аэрацию и, часто, вторую ступень фильтров с загрузкой из песка, активированного угля, модифицированных материалов, их совместные или отдельные слои.

4. Рассмотренный метод биохимической очистки подземных вод является практически универсальным, в т.ч. и для обработки воды сложного состава. К недостаткам можно отнести высокую стоимость и сложность в эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества : СанПиН 10-124 РБ 99 : введ. 01.01.2000. – Минск : М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 1999. – 122 с.
2. Строительные нормы Республики Беларусь. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения : СН 4.01.01-2019 : утв. постановлением М-ва архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь 31.10.19 № 59. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 78 с.
3. Николадзе, Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г.И. Николадзе. – М. : Стройиздат, 1978. – 160 с.
4. Золотова, Е.Ф. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода / Е.Ф. Золотова, Г.Ю. Асс. – М. : Стройиздат, 1975. – 176 с.
5. Труфанов, А.И. Формирование железистых подземных вод / А.И. Труфанов – М. : Наука, 1982. – 138 с.
6. Швец, В.М. Органические вещества подземных вод / В.М. Швец. – М. : Недра, 1973. – 192 с.
7. Юдович, Я.Э. Основные закономерности геохимии марганца / Я.Э. Юдович, М.П. Кетрис – Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 2013 – 40 с.
8. Седлухо, Ю.П. Инновационные технологии биологической очистки подземных вод / Ю.П. Седлухо, С.П. Иванов, В.Л. Еловик // Вода. – 2016. – № 11. – С. 2–6.
9. Рашкевич, Е.И. Основные технологические решения вариантов водоподготовки для небольших объектов водоснабжения / Е.И. Рашкевич, В.Д. Ющенко, Е.С. Велюго // Региональные проблемы природно-техногенных систем : сб. науч. тр. / Калининград. гос. техн. ун-т ; под ред. Г.А. Смирновой. – Калининград, 2020. – С. 74–85.

Поступила 13.12.2021

**THE MAIN WAYS AND SOLUTIONS FOR DESIGNING WATER TREATMENT SYSTEMS
FOR SMALL SETTLEMENTS IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

V. YUSHCHENKO, E. VELYUGO, E. RASHKEVICH, V. PROSOLOV, S. SEDLUKHA

The article describes geochemical processes, features of formation and migration of iron, manganese, nitrogen-containing substances in groundwater, as well as natural and man-made factors of groundwater pollution. Methods and schemes of underground water treatment are given. The authors have proposed options for the application of aeration methods of groundwater treatment in the design of de-ironing stations.

Keywords: *groundwater, water quality, de-ironing methods, aeration methods, design of water treatment plants.*