

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ  
СИСТЕМ**

**Сборник научных трудов**

**Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2020**

**Редакционная коллегия:**

В. А. Наумов (отв. редактор, зав. кафедрой ФГБОУ ВО «КГТУ»),  
Н. Р. Ахмедова (отв. секретарь, доцент ФГБОУ ВО «КГТУ»),  
Н. Л. Великанов (зав. кафедрой ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта»),  
В. Г. Пунтусов (зам. директора ФГБУ «Калининградмелиоводхоз»)

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

доктор технических наук, профессор, директор Инженерно-технического  
института ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»

С. И. Корягин

доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой теории механизмов  
и машин и деталей машин ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

С. В. Федоров

Региональные проблемы природно-техногенных систем: сборник науч-  
ных трудов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2020. – 100 с.  
ISBN 978-5-94826-536-0

В сборнике представлены результаты исследований преподавателей, сот-  
рудников и аспирантов кафедры водных ресурсов и водопользования ФГБОУ ВО  
«Калининградский государственный технический университет», а также других  
кафедр и лабораторий, работающих в различных научных направлениях приро-  
дообустройства и водопользования, за последние годы.

В сборник входят статьи с теоретическими и экспериментальными реше-  
ниями широкого спектра задач, связанных с инженерно-техническими проб-  
лемами природообустройства: гидромеханики, мелиорации, инженерной гид-  
рологии, гидротехники, включая вопросы проведения мониторинга и анализа  
современного состояния мелиоративных систем в Калининградской области.

Сборник научных статей предназначен для научных сотрудников, инже-  
неров, преподавателей высших и средних специальных учебных заведений, ас-  
пирантов и студентов, связанных с широким кругом задач природообустрой-  
ства, водопользования, проектирования и эксплуатации водохозяйственных систем.

Рис. 38, табл. 19, список лит. – 94 наименования

УДК 532:626

ISBN 978-5-94826-536-0

© Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Калининградский  
государственный технический  
университет», 2020 г.

© Коллектив авторов, 2020 г.

УДК 628.16

ГРНТИ 70.27.13

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ВАРИАНТОВ  
ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ НЕБОЛЬШИХ ОБЪЕКТОВ  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Е. И. Рашкевич<sup>1</sup>, В. Д. Ющенко<sup>2</sup>, Е. С. Велюго<sup>2</sup>

<sup>1</sup>УП «Витебскоблводоканал»,

210026, г. Витебск, ул. Замковая, 4-3, Республика Беларусь;

<sup>2</sup>Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

211440, Витебская обл., г. Новополоцк, ул. Блохина, 29, Республика Беларусь

*обработка подземных вод, получение нормативных показателей, водопроводные очистные сооружения, напорные фильтры, упрощенная и интенсивная аэрация, применение окислителей*

Решение проблемы улучшения качества водоснабжения в малых населенных пунктах Республики Беларусь, охваченных централизованной системой водоснабжения, неразрывно связано с проведением комплекса мероприятий по строительству или реконструкции установок водоподготовки.

Беларусь богата подземными водными ресурсами, которые являются основным источником водоснабжения. При этом производится систематический контроль качества подземных вод и уровня водоносных горизонтов как в свободных водных горизонтах, так и в артезианских скважинах, расположенных в естественных и слабо нарушенных гидрогеологических условиях.

Как правило, качество подземных вод контролируется один раз в год, тогда как уровень грунтовых измеряется три раза в месяц. Сеть мониторинга качества воды далее подразделяется на следующие компоненты:

– фоновая сеть наблюдений предназначена для изучения естественного (фонового) режима подземных вод, являющегося исходным при оценке антропогенной нагрузки;

- национальная сеть наблюдений служит для изучения особенностей формирования подземных вод, обусловленных природными условиями конкретного региона и своеобразием проявлений техногенных изменений в подземной гидросфере;

- трансграничный гидрогеологический мониторинг.

Наблюдения за сезонными изменениями уровня подземных вод в безнапорных и частично в напорных водоносных горизонтах имеют следующую закономерность: уровень воды повышается в весенний и осенне-зимний периоды, тогда как в летний сезон наблюдается его снижение. Сезонный режим в большинстве артезианских водоносных горизонтах несколько иной. Кривые изменения уровня воды более плоские (с менее экстремальными значениями), а весеннее повышение происходит в основном в мае, тогда как падение уровня воды – в ноябре.

Основная проблема качества питьевой воды в Беларуси обусловлена двумя факторами:

- гидрогеохимическими особенностями формирования водоносных горизонтов, прежде всего присутствием болотной местности и торфяников, которые обуславливают в подземной воде наличие аммонийного азота и сероводорода;

- техногенным загрязнением, вызванным применением удобрений, а также попаданием продуктов выщелачивания сточных вод или других органических отходов в поверхностные и подземные воды, приводящих к высокой концентрации нитратов.

Производимый мониторинг качества подземной воды в Витебской области показал ряд особенностей.

Общий отбор подземных вод для целей водоснабжения не превышает 3 % от разведанных запасов. Гидродинамический режим водоносных горизонтов (уровни подземных вод) в речном бассейне Западной Двины был измерен в девяти гидрогеологических районах (посредством 29 наблюдательных скважин). В целом средняя концентрация основных макрокомпонентов в безнапорных

подземных водных горизонтах, как правило, низкая, за исключением повышенных значений нитратов и окисляемости в трех наблюдательных скважинах (представляющих три гидрогеологических района). Повышенные значения аммонийного и нитритного азота, превышающие максимально допустимые концентрации для питьевой воды, были обнаружены в четырех гидрогеологических районах (одном артезианском и трех безнапорных водоносных горизонтах). Анализ качества подземных вод (по микрокомпонентам) выявил два параметра (содержание фтора и марганца), по которым максимально допустимые концентрации были превышены [1].

Наличие железа в подземных водах является прямым результатом его естественного присутствия в подземных горных породах. По мере того, как вода движется через породы, часть железа растворяется и накапливается в грунтовых водах. Повышенное его содержание наблюдается также в болотных водах, в которых оно находится в виде комплексов с солями гуминовых кислот, так называемое органическое железо. Насыщенными железом оказываются подземные воды в толщах юрских глин. В глинах много пирита  $\text{FeS}$ , и железо из него относительно легко переходит в воду.

В системах подземных вод железо присутствует в одном из двух состояний окисления: растворимом двухвалентном ( $\text{Fe}^{+2}$ ) либо окисленном нерастворимом трехвалентном ( $\text{Fe}^{+3}$ ).

Гидроксид железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  – прямой результат окисления и осаждения двухвалентного железа. Двухвалентная форма часто связана с бикарбонатами и поэтому бесцветна, или называется «прозрачным» железом. Окисленная форма или  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  является осаждающим веществом, а ее частицы поддаются фильтрации.

Наличие в воде повышенных концентраций железа в сочетании с марганцем, нитритами и сопутствующими растворенными газами – очень сложная проблема их изъятия в системах водоснабжения, использующих сырую воду из подземных источников, которые могут вступать в химические реакции с образованием веществ, вызывающих значительные проблемы при обработке воды с

получением питьевого качества. Совокупность этих загрязнителей не только отрицательно воздействует на здоровье населения, но и обладает нежелательными визуальными эстетическими и органолептическими свойствами [2, 3].

Водоснабжение питьевой воды малых населенных пунктов обычно основано на вскрытии соответствующих водоносных горизонтов путем устройства неглубоких (70...80 м) скважин.

По результатам обследования текущего состояния систем водоснабжения и качества питьевой воды можно сделать следующие выводы:

- неудовлетворительное техническое состояние наружных водопроводных сетей;
- отсутствие должного контроля и учета рабочих параметров работы систем водоснабжения;
- неудовлетворительный гидравлический режим работы системы (избыточные напоры, гидравлические удары, воздушные пробки и т. п.);
- несовершенное и устаревшее оборудование насосных станций, водозаборных и водоочистных комплексов;
- несовершенное регулирование работы насосов;
- большие потери воды во внутренних водопроводных сетях и водоразборной арматуре и нерациональное ее использование;
- завышенные нормы водопотребления, связанные с устаревшей водоразборной арматурой и отсутствием учета водопотребления.

При проектировании новых установок или станций (в дальнейшем ВОС) обезжелезивания или их реконструкции для малых населенных пунктов основной драйвер в выборе вариантов технологии водоподготовки – качество исходной воды. Требование обеспечить необходимую производительность не будет являться фактором, существенно влияющим на размер и стоимость сооружений, ввиду того, что их производительность легко увеличить путем добавления соответствующих емкостей (фильтров).

В условиях финансового кризиса, дефицита бюджетных средств и собственных инвестиционных ресурсов инвестирование строительства и рекон-

струкции объектов водоснабжения происходят по затратному принципу, при этом абсолютно не рассматриваются вопросы объективной оценки состояния систем водоснабжения и оптимального выбора проекта, проведения оценки экономической интеграции, экологического и социального воздействия проектов, построения финансовой модели по привлечению инвестиции на развитие ВКХ.

На каждом водозаборе в зоне ВОС желательно выполнить бурение новой скважины, а существующие использовать в качестве резервных.

Основной целью исследования является разработка типовых решений по водоподготовке малых населенных мест, которые могли бы быть применены для групп муниципальных образований при унификации конкурсных процедур. Технологические линии обезжелезивания подземных вод должны состоять из типовых компонентов, которые будут использоваться на всех ВОС, с адаптацией к проектным параметрам каждого конкретного объекта.

Предполагается, что водоочистное оборудование следует устанавливать в передвижных контейнерах с теплоизоляцией из сэндвич-панелей. Мобильные контейнеры обеспечат удобство транспортировки и сборки на объекте. При этом должна быть предусмотрена возможность их подключения к автоматизированной системе диспетчерского управления (АСДУ) с унификацией сигналов для удаленного контроля и мониторинга объектов.

В зависимости от имеющихся условий вероятно использование водонапорных башен или вместо них железобетонных (может быть – пластмассовых) резервуаров чистой воды, где это будет признано целесообразным. Однако в таком случае следует обращать внимание на соотношение цены и качества, особенно ожидаемую экономию на протяжении жизненного цикла. Заметим, что капитальные затраты на строительство резервуаров чистой воды существенно ниже, чем водонапорных башен, которые, кроме всего прочего, должны иметь надежное антикоррозийное внутреннее покрытие и защиту от промерзания и переливов в зимний период [2, 4, 5].

Вследствие того, что внедрение таких систем обезжелезивания повлечет за собой соответствующий рост удельной стоимости произведенной воды, необходимо последовательно увеличить покрытие индивидуальными приборами учета (вплоть до 100 %) потребителей.

Существующие технологические подходы к очистке питьевой воды в населенных пунктах, включенных в зону исследования, можно разделить на варианты в соответствии с проектными параметрами в зависимости от дебита водозаборных скважин, концентрации железа и других загрязнителей в сырой воде.

Остаточная концентрация железа в очищенной воде не должна превышать  $0,3 \text{ мг/дм}^3$  [6–8]. Рассмотрим два варианта водоподготовки с напорными фильтрами для малых населенных мест.

Категории загрязненной воды:

*категория А:* концентрация железа в сырой воде  $0 \dots 5 \text{ мг/дм}^3$ , низкая концентрация других загрязняющих веществ;

*категория В:* концентрация железа в сырой воде до  $10 \text{ мг/дм}^3$ , высокая концентрация других загрязняющих веществ.

Применение биологического метода здесь не рассматриваем ввиду сложности его исполнения в напорном варианте.

Для категории А наиболее рентабельным, экологически чистым и часто применяемым способом окисления железа является аэрация и последующая фильтрация (рис. 1).

Для категории В используется много способов окисления железа (рис. 2), чаще всего производят воздействие на исходную воду усиленной аэрацией, но может быть и совместное дополнительное применение реагентов [5, 9, 10].



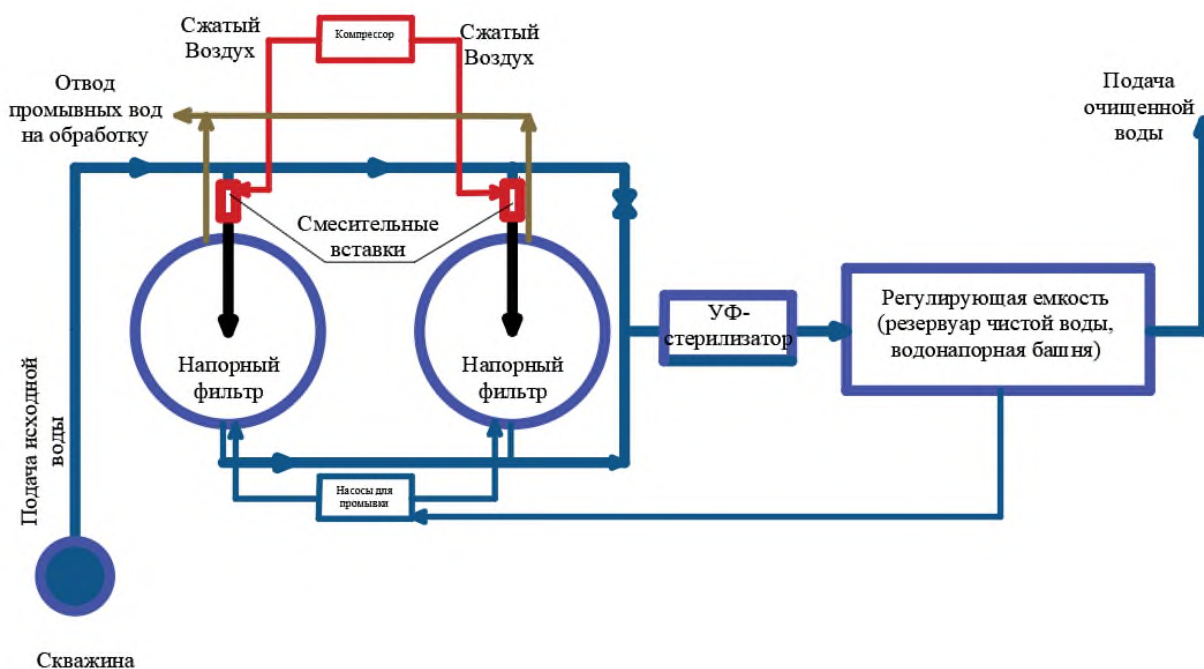


Рисунок 1 – Технологическая схема удаления железа из подземной воды путем аэрации и реагентного окисления с последующей фильтрацией в напорных емкостях (вариант А)

Железо легко окисляется атмосферным кислородом, а процесс аэрации обеспечивает растворенный кислород, необходимый для превращения железа в нерастворимую форму без использования химических веществ. На процесс аэрации и условия его ведения влияют величины рН и  $E_h$  исходной воды. Аэрацию производят подачей сжатого воздуха в смесительную вставку при помощи компрессора (показано на рис. 1) или устройством эжектора. Следует отметить, что процесс аэрации требует тщательного контроля, поскольку при недостаточном расходе воздуха железо не будет должным образом окисляться. В то же время, если расход воздуха слишком высок, вода может стать перенасыщенной растворенным кислородом и коррозионно-активной [9].

Предварительные рабочие параметры работы ВОС: скорость фильтрации 5-10 м/ч, фильтроцикл не более 72 ч.

Для удаления осажденного железа из фильтрующей загрузки напорных фильтров необходима ее периодическая обратная промывка. Условия промывки зависят от типа применяемой загрузки.

Периодичность проведения текущего ремонта составляет не менее одного раза в год. При этом обязательно производится корректировка параметров, если происходит изменение производительности и состава исходной воды.

Предельное давление должно быть не более 0,6 МПа.

Технологический вариант А широко используется для большинства объектов в зоне исследования на объектах водоснабжения, в том числе и в Витебской области Республики Беларусь.

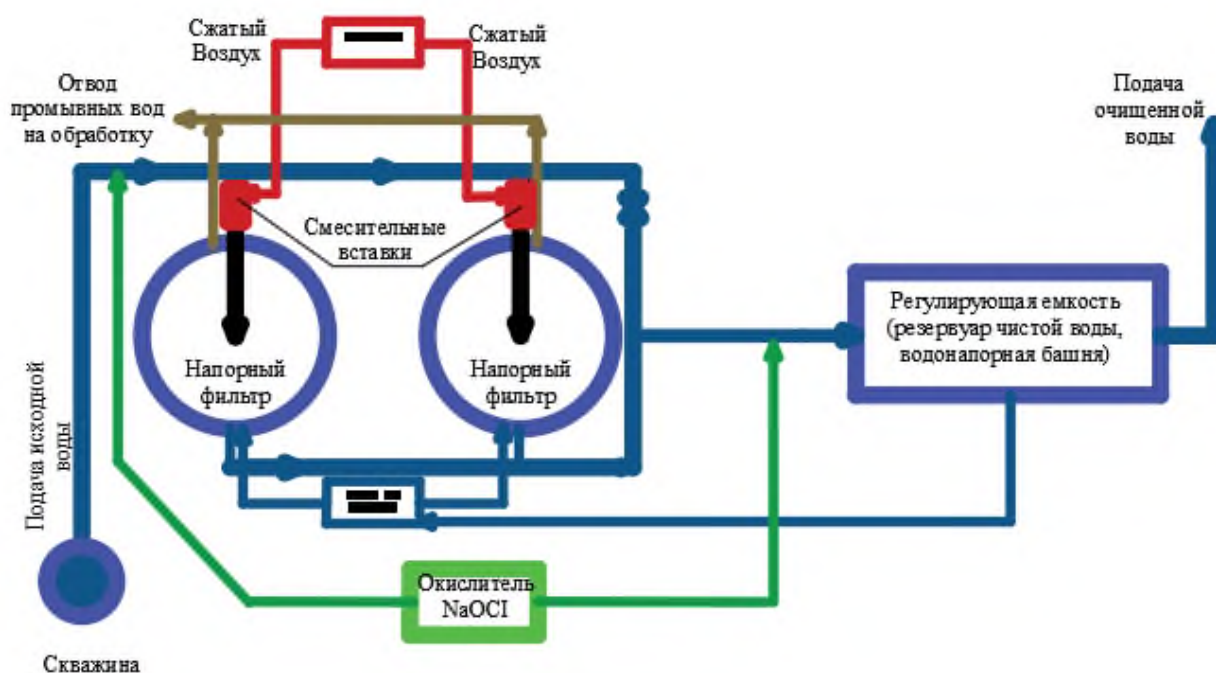


Рисунок 2 – Технологическая схема удаления железа и других загрязнителей из подземной воды путем аэрации, а также реагентного окисления с последующей фильтрацией в напорных емкостях (вариант Б)

При использовании окислителей, как правило, применяют усиленную аэрацию воды. Прежде всего, повышают удельное количество вводимого сжатого воздуха в смесительную вставку в 2...4 больше по сравнению с обычной аэрацией, хотя могут возникать проблемы с удалением избыточного воздуха. Возможен вариант работы напорных фильтров в режиме «сухой фильтрации».

Такая технология с последующей фильтрацией подразумевает использование реагентов в специально созданной среде для окисления, с этой целью ис-

пользуются напорные резервуары с инжекторами при подаче окислителя в начало процесса. Причем реагент служит не только для окисления растворимого железа до нерастворимого соединения трехвалентного железа, но и фиксации органических веществ, присутствующих в воде.

Чаще всего в качестве окислителя применяется гипохлорит натрия (калия) дозой не менее 7...10 мг/л, с учетом условий по дезинфекции воды, т. е. производится одновременно обеззараживание воды. При необходимости снижения остаточной концентрации этого окислителя в составе фильтрующей загрузки должен быть применен слой антрацита или активированного угля.

Присутствие слоев загрузки, обработанных марганцевыми реагентами, может потребовать их регенерации. Восстановление окислительной способности слоев достигается пропуском раствора перманганата калия с последующей промывкой. Этот процесс практически аналогичен регенерации катионитовых фильтров при умягчении воды.

Предварительно основные параметры работы можно принять те же, что и для варианта А с последующей корректировкой в процессе выполнения пусконаладочных работ.

Для фильтрации в обоих вариантах обычно применяются следующие материалы:

- кварцевый песок (используется наиболее часто, особенно при малой концентрации железа);
- минералы с высоким содержанием двуокиси марганца (высокая концентрация железа может быть в присутствии с марганцем в исходной воде);
- комбинация антрацита и песка или силикатная основа с покрытием из двуокиси марганца (то же);
- глауконит: цеолитовый минерал, покрытый марганцем (то же);
- материал, покрытый марганцем, или плавленый кварц (то же);
- сорбенты Вirm, МТМ, АС и АМ, другие специализированные загрузки (высокая концентрация железа в присутствии аммонийного азота, сероводорода).

На площадке ВОС необходимо предусмотреть мероприятия по обработке промывных вод. Это могут быть иловые площадки или сборные резервуары с последующим вывозом осадка на полигон ТБО, а в последнем случае – в систему хозяйственно-бытовой канализации населенного пункта.

Промывные воды представляют собой суспензию твердых веществ, преимущественно неорганических и части органических, удаленных из воды в качестве остаточного результата процесса водоподготовки. Сырая вода из подземного водоносного горизонта имеет стабильный состав, следовательно, то же самое относится к качеству и количеству осадка. Состав и свойства образующего осадка промывных вод зависят в первую очередь от состава сырой, требуемого качества питьевой воды и применяемой технологии очистки. Осадок состоит из иловой воды и твердых частиц различной формы и размеров, а вода присутствует в осадке в свободной, коллоидной и химически связанной форме.

### **Общие выводы**

Рассмотрены два основных вида технологических решений для очистки в напорных вариантах подземных вод систем водоснабжения малых населенных мест в зависимости от исходного состава загрязнителей.

При реконструкции существующих ВОС следует применять метод упрощенной аэрации с последующим фильтрованием.

Если выполняется проектирование и строительство новых ВОС, то выбор метода обезжелезивания желателно производить путем изысканий непосредственно у источника водоснабжения. При невозможности этого и выборе аналога проектирования необходимо, прежде всего, производить анализ исходного состава с опорой на открытые литературные источники и нормативные документы.

В любом случае после реконструкции существующих или строительстве новых ВОС нужно осуществлять корректировку параметров работы сооружений в процессе выполнения пуско-наладочных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. North Belarus Clean Water Sub-Project: Technical Assessment Report. Final report of November 29, 2018.
2. Водные ресурсы Республики Беларусь, их использование и охрана. - Минск: ЦНИИКиВР, 2016. – 24 с.
3. Гуринович, А. Д. Современное состояние и стратегические задачи водного хозяйства Беларуси / А. Д. Гуринович // Чистая вода: проблемы и решения. – 2012 –№ 1-2. – С. 111–116.
4. Белан, А. Е. Технология водоснабжения / А. Е. Белан. – Москва, 2005. – 264 с.
5. Николадзе, Г. И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г. И. Николадзе. – Москва: Стройиздат, 1978. – 160 с.
6. Санитарные правила и нормы "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: СанПиН 10-124 РБ 99: введ. 01.01.2000 – Минск: Министерство здравоохранения Республики Беларусь, 1999. – 122 с.
7. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-4.01-320-2018. – Введ. 01.10.18 – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2018. – 76 с.
8. СНиП 2.04.02-84 РФ Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция свода правил СП 31.13330.2012 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 29 декабря 2011 г. N 635/14).
9. Особенности совместного удаления железа и аммонийного азота из подземных водоисточников в сооружениях напорного типа / В. Д. Ющенко, Е. С. Велюго, Т. В. Козицин, К. Г. Петренко // Развитие инженерно-технических методов природообустройства и водопользования: сб. науч. тр. – Калининград, 2018. – С. 98-108.
10. Ющенко, В. Д. Анализ применения фильтрующих материалов для удаления загрязнений из подземных вод сложного состава / В. Д. Ющенко,

Е. С. Велюго, С. И. Пивоварова // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – Новополоцк, 2019. – С. 116-119.

**BASIC TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR WATER TREATMENT OPTIONS  
ARE AVAILABLE FOR SMALL WATER SUPPLIES**

**E. I. Rashkevich, V. D. Jushhenko, A. S. Vialiuha**

The characteristic of the initial composition of underground water is presented, and standard solutions for water treatment of small localities in the Vitebsk region of the Republic of Belarus are developed.