

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи
УДК 628.16/2.0.04.2

ПРОСОЛОВ
ВАДИМ ПЕТРОВИЧ

**ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЛОЖНОГО
СОСТАВА НА УСТАНОВКАХ НАПОРНОГО ТИПА**

Диссертация на соискание ученой степени магистра технических наук
по специальности 70 80 01 Строительство

Научный руководитель
кандидат технических наук, доцент
Ющенко Виктор Дмитриевич.

Допущен к защите
«__» _____ 2022 г.

Зав. кафедрой «Теплогазоводо-
снабжение и вентиляция»
кандидат технических наук

_____ Вишнякова Ю.В.

г. Новополоцк, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Принятые сокращения и обозначения, основные понятия	3
Введение.....	5
Глава 1. Краткий аналитический обзор по обработке подземных вод сложного состава	7
1.1. Общие сведения по образованию основных загрязнений в подземных водах	7
1.2. Анализ качества подземных вод в Витебской области.....	17
1.3. Основные технологические решения по обработке подземных вод, содержащих железо и аммонийные соли в напорном варианте	20
1.4. Выводы по главе	25
Глава 2. Характеристика выбранного объекта и методика проведения исследования	26
2.1. Характеристика объекта	26
2.2. Методика проведения исследования	28
Глава 3. Разработка технологической схемы обработки подземных вод, содержащих железо и аммонийные соли	31
3.1. Подготовка и проведение эксперимента.....	31
3.2. Выводы и обсуждение результатов исследований.....	33
Заключение	38
Список использованных источников.....	40
Приложение А	44
Приложение Б	46
Приложение В	47

**ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ.
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ**

ВКХ	Водопроводно-канализационное хозяйство
ЕС	Европейский союз
ПДК	Предельно-допустимая концентрация вещества, мг/л (мг/дм ³)
ГОСТ	Национальный стандарт
СанПиН	Санитарные правила и нормы
ВОС	Водопроводные очистные сооружения
pH	Водородный показатель pH - показатель, определяющий концентрацию ионов водорода в растворе в долях единицы
Eh	Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) — мера способности химического вещества присоединять электроны, мВ (милливольты).
Цветность	Природное свойство воды , обусловленное наличием в ней гуминовых веществ, которые вымываются в воду из почвы, градусы по платинокобальтовой шкале.
Запах, привкус	Показатели качества воды, определяемым посредством органолептического метода. Меняется под воздействием состава растворенных элементов, температуры, значений pH и целого ряда иных факторов, баллы.
C_{вв}	Взвешенные вещества, мг/дм ³
П	Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /дм ³
БПК	Биохимическое потребление кислорода, мгО ₂ /дм ³
ХПК	Химическое потребление кислорода мгО ₂ /дм ³
Железо	Концентрация железа или его соединений в водном растворе, мг/дм ³
Аммонийный азот	Соединение атомов азота и водорода, обладает химическими свойствами металлов, являются продуктами разложения и жизнедеятельности различных организмов, мг/дм ³ .
Нитриты	Соли азотистой кислоты, содержащие однозарядный анион NO ₂ ⁻ и являющиеся промежуточными продуктами биологического разложения азотсодержащих органических соединений, мг/дм ³ .
Нитраты	Соли азотной кислоты, содержащие однозарядный анион NO ₃ ⁻ и легко поддающиеся биологическому разложению, хорошо растворимы в воде, мг/дм ³ .

Водоснабжение – технологический процесс, обеспечивающий забор, подготовку, транспортировку и передачу абонентам питьевой воды.

Централизованная система водоснабжения – комплекс водохозяйственных сооружений и устройств, находящийся на праве собственности, хозяйственного ведения, оперативного управления или на ином законном основании у организаций ВКХ, предназначенный для добычи (изъятия), обработки, транспортировки, хранения, распределения питьевой воды для обеспечения водой всей совокупности потребителей и абонентов населенного пункта.

Подземные воды – это воды, находящиеся в горных породах в жидком, твердом и парообразном состоянии.

Водопроводная сеть – система трубопроводов и сооружений на них, предназначенных для транспортировки и передачи абонентам воды в системе водоснабжения.

Водопотребление – использование воды абонентом (субабонентом) на удовлетворение своих нужд.

Питьевая вода – вода после подготовки или в естественном состоянии, отвечающая установленным санитарными нормами требованиям и предназначенная для питьевых и бытовых нужд населения и (или) производства пищевой продукции.

Водоподготовка – обработка воды, поступающей из природного водоисточника, для приведения ее качества в соответствие с требованиями технологических потребителей.

Станция водоподготовки – комплекс зданий, сооружений и устройств для водоподготовки.

Потребитель – физическое или юридическое лицо, пользующееся услугами водоснабжения, водоотведения (канализации) исключительно для личных, семейных, домашних и иных нужд, не связанных с осуществлением предпринимательской деятельности, и имеющее с организациями ВКХ (абонентом) заключенный договор на оказание данных услуг.

Мониторинг подземных вод – это система регулярных наблюдений за изменением состояния подземных вод под воздействием природных и техногенных факторов.

ВВЕДЕНИЕ

Данная магистерская диссертация на тему «Особенности очистки подземных вод сложного состава на установках напорного типа» состоит из 3 глав, содержит 47 страниц, 5 рисунков, 6 таблиц, 3 приложения и 48 литературных источников.

Системы водоснабжения являются важными показателями жизнеобеспечения населения. От стабильного функционирования указанных систем зависит нормальная работа населенных пунктов, предприятий, здоровье и безопасность жителей /10,12/.

Основной целью развития коммунального водоснабжения населенных пунктов Витебской области является повышение эффективности и надежности их функционирования наряду с поддержанием надлежащего качества и снижением затрат на оказание услуг /16/.

В последние годы динамика развития водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) области направлена на решение вопросов улучшения качества подаваемой населению питьевой воды из централизованных систем водоснабжения /9,10/

Этому способствует рост населенных мест, развитие промышленности и возрастающие требования к качеству воды со стороны различных водопользователей приводят к необходимости нахождения рациональных методов обработки воды. Разработка новых технологических схем позволяет снизить затраты на строительство станции очистки воды и повысить качество подаваемой воды

В республике Беларусь для населенных пунктов широко используются подземные воды (кроме г. Минска, где частично подается вода после ее обработки из поверхностного источника).

Обеспечение населения водой нормативного качества для городов и поселков городского типа на данный момент является практически решенной задачей. Но, вследствие неравной доступности современных благ и услуг малонаселенных пунктов, это еще остается *актуальной и значимой* проблемой. В Витебской области 6249 сельских населенных пунктов области (более 81,6 % от общего числа) имеют население до 50 человек, в том числе более 1800 поселений – до 10 человек /44,45/.

Исследования проводились для объекта, расположенного в Россонском районе Витебской области. Для этого региона подземная вода характеризуется наличием взвешенных веществ, повышенным содержанием двухвалентного железа, а также наличием аммонийного азота.

Трудность борьбы с аммиачными соединениями в подземной воде определяется его химическими свойствами: высокой растворимостью этого соединения, что ведет к увеличению их концентрации в водоносном горизонте, а также способностью азотсодержащих компонентов накапливаться в подземной воде во всем природном диапазоне *Eh-pH* состояний подземных вод. При очистке воды от азотсодержащих соединений надо учитывать, что конечный продукт должен быть экологически чистым /1,8,32/.

Целью данной работы является изучить особенности очистки подземных вод сложного состава, содержащих железо и аммиачные соединения на установках напорного типа и провести исследования с разработкой технологической схемы на конкретном выбранном объекте. Для достижения поставленной цели были выделены и решены следующие **задачи**:

а) изучение литературных источников по технологии очистки подземных вод в зависимости от дебита водозаборных скважин и концентрации железа, содержащейся в исходной воде, и анализ полученных данных;

б) изучение возможных альтернативных решений по удалению железа и аммонийных солей;

в) качественное исследование и оценка инклюзивного воздействия используемых параметров обработки подземных вод;

г) разработка технологической схемы очистки воды для конкретного рассматриваемого объекта.

Практическая значимость данной магистерской диссертации заключается в реконструкции существующей станции водоподготовки при очистке подземной воды, содержащей железистые и аммиачные соединения.

Работа проводилась в рамках осуществления ряда программ Республики Беларусь /12,17,28,33,39/.

Результаты работы были представлены на региональном семинаре по обработке подземных вод (сентябрь 2020 г.) Витебского учебного центра ЖКХ и ГЦ «Жилком» (апрель 2021 г.) и будут использованы на объектах УП «Витебскоблводоканал».

По результатам работы подготовлена и опубликована статья «Основные пути и решения проектирования систем водоподготовки малых населенных пунктов в Республике Беларусь» в научно-теоретическом журнале «Вестник Полоцкого государственного университета» Серия F. Строительство. Прикладные науки., №16 – г.Новополоцк, 2021.

ГЛАВА 1. КРАТКИЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПО ОБРАБОТКЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЛОЖНОГО СОСТАВА

1.1. Общие сведения по образованию основных загрязнений в подземных водах

Общемировая практика говорит о том, что вода из подземных источников является более безопасной и качественной /1,11,41/.

По международным экспертным оценкам Республика Беларусь относится к одной из немногих стран в которых имеются прогнозируемые значительные запасы воды, в т.ч. и подземной, использование которой может создавать благоприятную, безопасную и безвредную среду /41-48/.

Беларусь, находящаяся на водоразделе бассейнов рек Черного и Балтийского морей, безусловно, должна разрабатывать эффективную водохозяйственную политику, адаптированная к политике устойчивого развития экономики и учитывать наличие и состояние водных ресурсов, и их трансграничный фактор /15,16/.

Подземная вода подразделяется на грунтовую и артезианскую. Режим движения грунтовых и артезианских вод существенно различен.

Режим подземных вод — изменение во времени уровней подземных вод, температуры, физических свойств, химического, газового состава, скорости движения, расхода и пр. Определяется геологической обстановкой и климатическими условиями, а также хозяйственной деятельностью человека (осушение, орошение, строительство подпорных гидротехнических сооружений, водоотлив из горных выработок и т. п.) /22,24-26/.

Режим грунтовых вод всецело определяется метеорологическими факторами: атмосферными осадками, температурой воздуха, давлением, испарением. Неравномерность инфильтрации атмосферных осадков является основной причиной изменения режима грунтовых вод. Изменения уровней грунтовых вод наблюдаются не только в течение одного гидрологического года, но и в многолетние периоды. Колебания уровней в трещиноватых подземных породах имеют свою специфику. Максимальное повышение уровней подземных вод весной происходит быстрее непосредственно в период снеготаяния. Значительное повышение уровней наблюдается также во время летних и осенних дождей, в том числе и ливневого характера. Амплитуда годовых колебаний может достигать 10 м и более.

Режим артезианских вод в естественных условиях характеризуется большим постоянством по сравнению с режимом безнапорных вод. Большое влияние на режим напорных вод оказывает деятельность человека; из недр земли ежегодно извлекаются огромные массы подземных вод для нужд питьевого, хозяйственного и технического водоснабжения, лечебных целей, ирригации, добычи химического сырья, а также при искусственном водопонижении в связи с производством строительных, горных и других работ.

Известно, что при интенсивном использовании артезианских вод, их естественные уровни понижаются.

Величина прогнозных эксплуатационных запасов подземных вод Республики Беларусь составляет около 50 млн. м³/сут. Для питьевого водоснабжения разведано свыше 270 месторождений пресных подземных вод из которых эксплуатируется и действуют лишь 160 водозаборов (59 % от числа разведанных). Обеспеченность централизованными системами водоснабжения – 90,6 %, качественной питьевой водой – 88,1 % /14-16/.

Основной проблемой качества используемых подземных вод являются железистые соединения, концентрации которых превышают установленные значения в национальном стандарте СанПин10-124 РБ 99, причем их обработка часто осложняется дополнительным присутствием соединений марганца и аммония. /16/.

Лабораторные анализы проводятся аккредитованной Центральной лабораторией Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, Министерства здравоохранения или подразделений ВКХ.

Сеть мониторинга качества воды /24-26,48/ подразделяется на следующие компоненты:

- фоновая сеть наблюдений предназначена для изучения естественного (фоновое) 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: оценка трансграничного загрязнения грунтовых вод.

К концу 2025 года обеспеченность бытовых потребителей водоснабжением питьевого качества должна составить 100%. Для реализации данной задачи намечено строительство в общей сложности не менее 500 станций обезжелезивания по всей республике /17,23,28/.

Рассмотрим наиболее характерные загрязнения в подземных водах.

Железо и марганец растворяются подземными водами в местах, куда не проникает кислород, например, под плотными водонепроницаемыми породами, где отсутствуют дождевые и талые воды. В местах, если с дождевыми или другими водами поступает кислород, железо и марганец находятся в окисленном, нерастворимом состоянии и содержание этих элементов в подземных водах чрезвычайно низко.

Таким образом, наиболее важным фактором, определяющим состав подземных вод, являются гидрогеологические условия, однако большую роль играют физические, химические и биологические условия. В природе **железо** находится в двух стадиях окисления – Fe²⁺ и Fe³⁺ и множестве форм /21,27,32/. Существование различных форм соединений железа в воде представлено на рисунке 1.



Рисунок 1.1 Схемы существования различных форм железа в воде

Концентрация ионов водорода H^+ оценивается значением pH воды, активность электронов значением окислительно-восстановительного потенциала Eh . Влияние pH и Eh , на процессы окисления железа и марганца, растворенных в воде, показано на диаграмме, приведенной на рисунке 2 /31/.

Линии на рисунке показывают значения pH и Eh , характеризующие состояние, при котором содержание различных форм под линией и над ней одинаково. На рисунке линиями разграничены три зоны, в верхней идет процесс окисления марганца, во второй сверху – окисления железа, в нижней - железо и марганец не окисляются.

Приведенные линии не являются абсолютными, их положение зависит от концентрации других веществ в воде. Как правило, марганец в подземных водах присутствует вместе с железом.

Из рисунка видно, что для окисления марганца необходимы более высокие значения pH и Eh , нежели для железа.

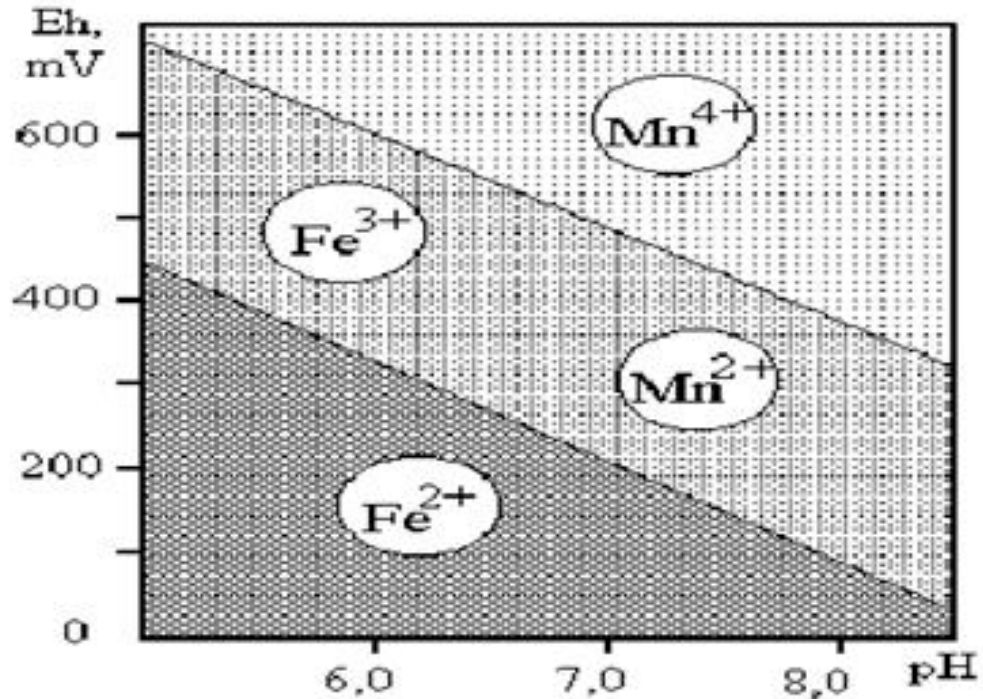


Рисунок 1.2. Влияние pH и Eh, на процессы окисления железа и марганца

В зависимости от конкретных окислительно-восстановительных условий, окисление Fe^{2+} может предшествовать гидролизу или идти параллельно с ним. Независимо от того, в какой последовательности протекают реакции окисления и гидролиза, конечным продуктом их всегда является гидроокись железа.

В итоге в воде образуются бурые хлопья гидроксидов, придающие ей интенсивную окраску. Повышенные концентрации железа желательны для некоторых минеральных лечебных вод, но потребление таких вод ограничивается врачом.

Двух- и трехвалентное железо, содержащееся в воде, организмом не усваиваются и является для него токсичным загрязнением, оказывающим раздражающее действие на слизистые и кожу, вызывающим гемохроматоз и аллергию/21,32/.

В природе **марганец** существует в различных стадиях окисления: Mn^{2+} , Mn^{3+} , Mn^{4+} , Mn^{6+} , Mn^{7+} . Соединения двухвалентного марганца хорошо растворимы, трехвалентного неустойчивы и не имеют практического значения, соединения трех- и четырехвалентного - нерастворимы и могут быть удалены с помощью фильтров. Производные шести и семивалентного марганца отличаются высокими окислительными свойствами, из них в процессах обработки воды в качестве окислителя используется перманганат калия KMnO_4 .

Марганец является также токсичным элементом, поражающим центральную нервную систему. Марганец в воде из скважины – пожалуй, одна из наиболее часто встречающихся неприятностей.

Марганец – один из самых распространённых в природе элементов /2,4,21,24/. По этому показателю среди других представителей таблицы Менделеева он занимает четырнадцатое место. Его можно найти в растениях, воде, земле, а также в организме животных и человека. Марганец, подобно железу, может присутствовать в различных соединениях: в виде бикарбонатов, минеральных и органических комплексах и других формах.

Неудивительно, что иногда его содержание превышает приемлемые нормы. В случае с водой из скважины, такое увеличение – результат наличия большого количества солей марганца в почве и слагающих пород скважин, которые планомерно вымываются и в итоге попадает в водные источники, а затем – и в водопроводные краны. Впрочем, у появления марганца в воде из скважины могут быть и другие причины:

- попадание в воду продуктов разложения животных;
- результат распада других живых организмов (как правило, окрашенных в сине-зелёный цвет);
- сброс отходов предприятий, имеющих отношение к химическому или металлургическому производству;
- некоторые сельскохозяйственные удобрения, внесённые в почву;
- неочищенные сточные воды;

Марганец менее распространён, чем железо, но по своим свойствам очень на него похож.

В быту использование такой воды также нежелательно. Ведь повышенное содержание марганца опасно практически для всей домашней техники, из-за него:

- повышается нагрузка на водопроводные трубы (их проходимость значительно снижается, равно как и срок службы);
- в зоне риска оказываются и электроприборы (водонагреватели, чайники, посудомоечные и стиральные машины), на которых появляется накипь.

В конечном счёте причинённый технике ущерб отражается на здоровье населения. Например, он может привести к простудам из-за проблем с системой отопления.

В некоторых случаях концентрация элемента оказывается настолько критичной, что воде требуется очистка.

Окисление марганца во многом схожи с ее обезжелезиванием аэрацией и реагентной обработкой и основаны на его окислении примесей, содержащих иона марганца (II) до марганца (III) и марганца (IV), образующих их гидроксиды, растворимость которых при $pH > 7$ меньше 0,01 мг/л и могут быть удалены из воды /8/.

Часто задачи удаления железа и марганца из воды решаются совместно. Для этого применяют различные окислители: кислород воздуха (аэрация), перманганат калия, озон, хлор и его производные.

Присутствие железа и марганца ухудшает в первую очередь органолептические показатели воды, она при контакте с воздухом приобретает окраску, мутнеет, становится непригодной для приготовления пищи и стирки белья. При транспортировании железосодержащих вод усиливаются процессы коррозии металличе-

ских труб, при питании такой водой котлов образуется накипь, поэтому содержание железа и марганца в воде также ограничивается в различных отраслях промышленности.

Из-за чрезмерного применения удобрений, а также попадания продуктов выщелачивания сточных вод или других органических отходов в поверхностные и подземные воды, в питьевой воде могут обнаруживаться **аммоний, нитриты и нитраты**.

Наибольшая загрязненность органическими веществами /7,8,26/ наблюдается в грунтовых водах на участках, где с поверхности фильтруются воды, содержащие органические вещества растительного или животного происхождения: в заболоченных районах, на речных поймах, особенно в местах расположения животноводческих ферм, выгребных ям и т. п.

Наряду с предельно допустимыми значениями концентраций химических и органических веществ необходимо учитывать наличие в воде кислорода.

При определенном содержании O_2 может происходить бактериальное самоочищение сточных вод, т.е. процесс распада органических веществ в сбрасываемых сточных водах. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами предусматривают, что в воде водотоков и водоемов растворенного кислорода должно быть не менее 4 мг/л.

Полная биологическая потребность воды водоемов и водотоков в кислороде при температуре $20^\circ C$ не должна превышать 3 мг/л ($BPK_5 \leq 3$) в местах забора из них воды для водоснабжения и 6 мг/л в местах купания /14,15/.

Часто в подземных водах общую концентрацию органических веществ оценивают **перманганатной окисляемостью**, т.е. в миллиграммах кислорода, эквивалентного количеству $KMnO_4$, пошедшего на окисление органических веществ, содержащихся в 1 л воды. Считают, что в воде системы водоснабжения населенного пункта, перманганатная окисляемость не должна превышать $5 \text{ мг}O_2/\text{дм}^3$.

Растворенные газы. Основными газами, растворенными в пресных подземных водах, являются кислород, азот, углекислый газ и сероводород. В незначительных количествах встречаются и все остальные газы /17,32/.

В подземных водах должно соблюдаться угольное равновесие, иначе воды будут не стабильны:



По генетическим признакам выделяют растворенные газы воздушного происхождения (O_2 , N_2 , CO_2), биохимические (CO_2 , H_2S , N_2) и газы ядерных превращений (He , Ra).

В пресных подземных водах преобладают растворенные формы химических элементов. Коллоидные формы присутствуют в основном только в грунтовых водах. Главным образом это соединения элементов с органическими веществами гумусового ряда, особенно с фульвокислотами, а также полимерные соединения кремнезема. В истинном растворе вещество может находиться в виде простых и комплексных ионов, а также нейтральных ионных пар и молекул.

Наиболее негативное влияние на потребительские свойства воды оказывает наличие в ней сероводорода.

Сероводород вызывает интенсивную коррозию металлических обсадных труб и другого оборудования в результате образования гидротроилита ($FeS \cdot nH_2O$).

Растворенные в воде газы (O_2 , CO_2 , CH_4 , H_2S и др.) придают ей определенный вкус и свойства. Количество и тип газов обуславливает степень пригодности воды для питьевых и технических целей. Подземные воды, особенно грунтовые, могут быть загрязнены органическими примесями (различные болезнетворные бактерии, органические соединения, поступающие из канализационных систем, и т. д.). Такая вода имеет неприятный вкус и опасна для здоровья людей.

Совершенно не допускается в питьевой воде присутствие аммиака и азотной кислоты, указывающих на загрязненность присутствием болотистой местности, может быть влияние неочищенными сточными водами.

Азот в природные воды поступает из воздуха, при разложении органических остатков, а также восстановлении соединений азота денитрифицирующими бактериями. Образующийся в воде в процессе гниения растений аммиак, существенно влияет на технологии хлорирования воды /8,25,31/.

Азотсодержащие вещества (ионы аммония, нитратные и нитридные соединения) образуются в воде в результате восстановления нитритов и нитратов железом (II), сероводородом, гумусовыми веществами и т.п. либо разложения белковых соединений, вносимых в водоем со сточными водами. В последнем случае вода опасна в санитарном отношении. Наличие в питьевой воде более 45 мг/л нитратов приводит к нарушению окислительной функции крови, известной под названием метгемоглобинемия, способствует образованию злокачественных опухолей.

Азот органический. Под «органическим азотом» понимают азот, входящий в состав органических веществ, таких, как протеины и протеиды, полипептиды (высокомолекулярные соединения). Кроме этого: аминокислоты, амины, амиды, мочевины (низкомолекулярные соединения) /5,30,39/. Большая часть из них токсична.

К числу существенных источников азотсодержащих соединений относятся также атмосферные осадки, в которых концентрация азотсодержащих органических веществ близка к наблюдающейся в поверхностных водах. Значительное повышение концентрации этих соединений нередко связано с поступлением в водные объекты промышленных, сельскохозяйственных и хозяйственно-бытовых сточных вод.

На долю органического азота приходится 50–75 % общего растворенного в воде азота. Концентрация органического азота подвержена значительным сезонным изменениям с общей тенденцией к увеличению в вегетационный период (1,5–2,0 мг/дм³) и уменьшению в период ледостава (0,2–0,5 мг/дм³). Распределение органического азота по глубине неравномерно – повышенная концентрация наблюдается, как правило, в зоне фотосинтеза и в придонных слоях воды.

Другая группа азотсодержащих соединений (ионы аммония, нитриты и нитраты) находятся в поверхностных и подземных водах в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии и могут под влиянием многих физико-химических и биохимических факторов переходить из одного состояния в другое.

Повышение концентрации ионов аммония и нитритов обычно указывает на свежее загрязнение, в то время как увеличение содержания нитратов - на загрязнение в предшествующее время. Все формы азота, включая и газообразную, способны к взаимным превращениям.

В природной воде аммиак (NH_4^+) образуется при разложении азотсодержащих органических веществ. Хорошо растворим в воде с образованием гидроксида аммония $\text{NH}_3(\text{OH})$ и $\text{NH}_4(\text{OH})$. Содержание ионов аммония в природных водах варьирует в интервале от 0,1 до 5 мг/дм³. С хозяйственно-бытовыми сточными водами в канализационные системы ежедневно поступает до 10 г аммонийного азота (в расчете на одного жителя).

Присутствие в незагрязненных поверхностных водах ионов аммония связано главным образом с процессами биохимической дегградации белковых веществ, дезаминирования аминокислот, разложения мочевины под действием уреазы. Основными источниками поступления ионов аммония в водные объекты являются животноводческие фермы, хозяйственно-бытовые сточные воды, поверхностный сток с сельхозугодий в случае использования аммонийных удобрений, а также сточные воды предприятий пищевой, коксохимической, лесохимической и химической промышленности. В стоках промышленных предприятий содержится до 1 мг/дм³ аммония (соединений NH_4^+), в бытовых стоках 2-7 мг/дм³ /25-27/.

Предельно допустимая концентрация в воде водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК_в) установлена в размере 2 мг/дм³ по азоту или 2,6 мг/дм³ в виде иона NH_4^+ (лимитирующий показатель вредности - санитарно-токсикологический). Механизм токсического действия - возбуждение центральной нервной системы, поражение эпителия, гемолиз (разрыв) эритроцитов. Токсичность аммония возрастает с повышением *pH* среды.

Повышенная концентрация ионов аммония может быть использована в качестве индикаторного показателя, отражающего ухудшение санитарного состояния водного объекта, процесс загрязнения поверхностных и подземных вод, в первую очередь, бытовыми и сельскохозяйственными стоками.

Итак, присутствие нитритных и нитратных ионов в подземных водах связано:

- внутриводоемными процессами нитрификации аммонийных ионов в присутствии кислорода под действием нитрифицирующих бактерий;
- атмосферными осадками, которые поглощают образующиеся при атмосферных электрических разрядах оксиды азота (концентрация нитратов в атмосферных осадках достигает 0,9 - 1 мг/дм³);
- промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами особенно после биологической очистки, когда концентрация достигает 50 мг/дм³;
- стоком с сельскохозяйственных угодий и со сбросными водами с орошаемых полей, на которых применяются азотные удобрения.

При длительном употреблении питьевой воды и пищевых продуктов, содержащих значительные количества нитратов (от 25 до 100 мг/дм³ по азоту), резко возрастает концентрация метгемоглобина в крови. Крайне тяжело протекают метгемоглобинемии у грудных детей (прежде всего, искусственно вскармливаемых молочными смесями, приготовленными на воде с повышенным - порядка 200

мг/дм³ - содержанием нитратов) и у людей, страдающих сердечнососудистыми заболеваниями. Особенно опасны грунтовые воды и питаемые ими колодцы, поскольку в открытых водоемах нитраты частично потребляются водными растениями.

Нитриты представляют собой промежуточную ступень в цепи бактериальных процессов окисления аммония до нитратов (нитрификация - только в аэробных условиях) и, напротив, восстановления нитратов до азота и аммиака (денитрификация - при недостатке кислорода). Подобные окислительно-восстановительные реакции характерны для станций аэрации, систем водоснабжения и собственно природных вод /26/. Кроме того, нитриты используются в качестве ингибиторов коррозии в процессах водоподготовки технологической воды и поэтому могут попасть и в системы хозяйственно-питьевого водоснабжения. Широко известно также применение нитритов для консервирования пищевых продуктов.

Главными процессами, направленными на понижение концентрации нитратов, являются потребление их фитопланктоном и денитрифицирующими бактериями, которые при недостатке кислорода используют кислород нитратов на окисление органических веществ. В поверхностных водах нитраты находятся в растворенной форме.

Концентрация нитратов в водоемах подвержена заметным сезонным колебаниям: минимальная в вегетационный период, она увеличивается осенью и достигает максимума зимой, когда при минимальном потреблении азота происходит разложение органических веществ и переход азота из органических форм в минеральные. Амплитуда сезонных колебаний может служить одним из показателей эвтрофирования водного объекта.

Подземные водоносные горизонты в большей степени подвержены нитратному загрязнению, чем поверхностные водоемы (т.к. отсутствует потребитель нитратов).

Присутствие нитрата аммония в концентрациях порядка 2 мг/дм³ не вызывает нарушения биохимических процессов в водоеме и подземных водах.

При воздействии на человека различают первичную токсичность собственно нитрат-иона; вторичную, связанную с образованием нитрит-иона, и третичную, обусловленную образованием из нитритов и аминов.

Смертельная доза нитратов для человека составляет 8-15 г; допустимое суточное потребление по рекомендациям ФАО/ВОЗ - 5мг/кг массы тела.

Наряду с описанными эффектами воздействия немаловажную роль играет тот факт, что азот - это один из первостепенных биогенных (необходимых для жизни) элементов. Именно этим обусловлено применение соединений азота в качестве удобрений, но, с другой стороны, с этим связан вклад вынесенного с сельскохозяйственных земель азота в развитие процессов эвтрофикации (неконтролируемого роста биомассы) водоемов. Так, с одного гектара орошаемых земель выносится в водные системы 8-10 килограммов азота.

Нитраты. Предельно допустимая концентрация нитратов в воде водоемов (ПДК_в) установлена в размере 10 мг/л по азоту или 45 мг/л в виде иона NO₃⁻

(лимитирующий показатель вредности - санитарно-токсикологический). В требованиях к составу воды хозяйственно-питьевого назначения также указан норматив, соответствующий 10 мг/дм³ по азоту или 45 мг/дм³ в виде иона NO₃⁻ (тождественно равен стандарту США для питьевой воды).

В поверхностных водах нитраты находятся в растворенном виде. В кислых водах могут присутствовать небольшие концентрации азотной кислоты (HNO₃) (не диссоциированной на ионы). Повышенное содержание нитратов указывает на усиление процессов разложения органических веществ в условиях более быстрого окисления NO₂⁻ в NO₃⁻, что указывает на загрязнение водного объекта, т.е. является важным санитарным показателем [14]. Концентрация нитритов в поверхностных водах составляет сотые (иногда даже тысячные) доли миллиграмма в 1 дм³; в подземных водах концентрация нитритов обычно выше, особенно в верхних водоносных горизонтах (сотые, десятые доли миллиграмма в 1 дм³). Сезонные колебания нитратов характеризуются отсутствием их зимой и появлением весной при разложении неживого органического вещества. Наибольшая концентрация нитритов наблюдается в конце лета, их присутствие связано с активностью фитопланктона (установлена способность диатомовых и зеленых водорослей восстанавливать нитраты до нитритов). Осенью содержание нитритов уменьшается.

В соответствии с требованиями глобальной системы мониторинга состояния окружающей среды (ГСМОС/GEMS) нитрит- и нитрат-ионы входят в программы обязательных наблюдений за составом питьевой воды и являются важными показателями степени загрязнения и трофического статуса природных водоемов /44-48/.

1.2. Анализ качества подземных вод в Витебской области

Витебская область богата подземными водными ресурсами. Общий отбор подземных вод для целей водоснабжения не превышает 3% от разведанных запасов /45/.

Водоснабжение питьевой водой обычно основано на вскрытии соответствующих водоносных горизонтов путем устройства неглубоких (70-80 м) скважин. Основная проблема качества питьевой воды в обусловлена двумя факторами:

- гидрогеохимические особенности формирования водоносных горизонтов;
- техногенное загрязнение.

В области для централизованного водоснабжения используются пресные гидрокарбонатные кальциевые, магниевые и натриевые, реже – более сложные по химическому типу воды. По величине *pH* они являются преимущественно слабощелочными, по жесткости – умеренно жесткими, реже жесткими. Оценка качества подземных вод проводится в соответствии с СанПиН 10-124 РБ 99.

Формирование химического состава пресных подземных вод в естественных условиях определяется в основном климатом, литологическим составом водовмещающих пород, глубиной эрозионных врезов и густотой гидрографической сети. Тесная гидравлическая взаимосвязь водоносных горизонтов зон активного

водообмена обуславливает наличие вод близких по составу, преимущественно гидрокарбонатно-кальциево-магниевых с минерализацией 0,1–0,6 г/л. Но, например, в Лиозненском и Докшицком районах Витебской области встречаются подземные воды со значительными концентрациями сульфатов, нитратов, жесткости и общей минерализацией 1-2,5 г/л /46-48/.

Общая минерализация является индикатором роста в воде макрокомпонентов в результате антропогенного воздействия.

Анализ проб воды на содержание микроэлементов показал, что в 80% проб воды из скважин наблюдается повышенная концентрация, железа, которое может быть в присутствии марганца и азотсодержащих веществ. Остальные микроэлементы находятся в воде в незначительных количествах, например, фтор – (0,05-0,2) мг/дм³ свинец – 0,005 мг/дм³, кадмий – менее 0,001, мышьяк и молибден – менее 0,005, ртуть – менее 0,0005, бор – менее 0,05 мг/дм³, радий – менее 1·10⁻¹² г/дм³, уран – менее 1,6·10⁻⁷ г/дм³.

В процессе эксплуатации водозаборов может происходить сезонные изменения качества подземных вод. Для отдельных водозаборов, где условия эксплуатации подземных вод сложные и не соблюдаются санитарные нормы (неудовлетворительное состояние зон санитарной охраны, застроенная городская территория, наличие промышленных предприятий и др.), прослеживается локальное загрязнение вод.

Также наблюдается загрязнение подземных вод в отдельных скважинах, связанное в большинстве случаев с хозяйственной деятельностью человека. В таком случае основными загрязняющими веществами являются азот аммонийный, нитраты, нитриты, хлориды и сульфаты, а также общая жесткость.

В таблицах 1.1-1.3 представлен наиболее типичные загрязняющие вещества в подземных водах в Беларуси и их предполагаемые источники, состав подземных вод в Республике Беларусь и Витебской области, а также сравнение национальных стандартов с Директивой ЕС 98-83 и ВОЗ о питьевой воде /5,6,44-48/.

Таблица 1.1. Характеристика артезианских подземных вод в Витебской области

Наименование Показателей	Значение показателей
Величина pH (ПДК в пределах 6-9)	7,2-7,7
Величина Eh, мВ	(-)80-(+)110
Минерализация, общая (ПДК=1000мг/дм ³)	250-350
Жесткость общая, (ПДК=7 мг-экв/дм ³)	4,0-9,0
Окисляемость перманганатная (ПДК=5,0 мгО ₂ /дм ³)	4,0-6,0
Хлориды Cl ⁻ (ПДК=350 мг/дм ³)	1-10
Сульфаты SO ₄ ²⁻ (ПДК=500 мг/дм ³)	35-100
Na ⁺ (ПДК=200 мг/дм ³)	60-150
K ⁺ , мг/дм ³	2-4
Ca ²⁺ , мг/дм ³	40-100
Mg ²⁺ , мг/дм ³	10-50
Железо Fe, общее (ПДК=0,3 мг/дм ³)	1,5-8,0

Марганец Mn^{2+} (ПДК=0,1 мг/дм ³)	0-0,7
SiO_3^{2-} (ПДК=10 мг/дм ³)	5-12
NH_4^+ (ПДК=2,0 мг/дм ³)	0,02-5,0
Нитриты NO_2^- (ПДК=2,0 мг/дм ³)	0,3-4,5
Нитраты NO_3^- (ПДК=45 мг/дм ³)	2-90
Сероводород H_2S (ПДК=0,05 мг/дм ³)	0-0,5

* Источники:

- Мониторинг подземных вод - ежегодные отчеты национальной системы мониторинга окружающей среды (за период 2010-2020 гг).

- Анализы воды из колодцев и скважин местных центров гигиены и санитарии, а также специализированных лабораторий местных водоканалов.

Таблица 1.2. Наиболее типичные загрязняющие вещества в подземных водах в Беларуси и их предполагаемые источники.

Речной бассейн	Тип подземного водоносного горизонта	Превышение Нормативных значений	Совокупные среднегодовые концентрации	Повышенные значения Fe, Mn, соответствующие естественному фону	Сельскохозяйственное загрязнение (удобрения)
Западный Буг	Грунтовые	ХПК, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , Mn^0 , $Ж^0$, Fe^0	NH_4^+ , Fe^0 и Mn	Повышенные значения Fe, Mn, соответствующие естественному фону	Сельскохозяйственное загрязнение (удобрения)
	Артезианские	NH_4^+ , Mn, Fe^0	Fe^0 и Mn^0		
Днепр	Грунтовые	SO_4 , Cl-, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , Mn, Fe^0 , ХПК	NO_2^- , ХПК, Fe^0 и Mn^0	Повышенные значения Fe, Mn соответствующие естественному фону и широкому диапазону жесткости воды	Сельскохозяйственное загрязнение (удобрения), антропогенное (сточные воды)
	Артезианские	NO_2^- , NH_4^+ , NO_3^- , ХПК, Mn, Fe^0	NO_3^- , ХПК, Fe^0 и Mn^0		
Западная Двина	Грунтовые	ХПК, Fe^0 , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-	ХПК, Fe^0	Повышенные значения ХПК соответствующие естественному фону (болота, торфяники). Превышен NH_4	Сельскохозяйственное загрязнение (удобрения), природные условия (болота, торфяники)
	Артезианские	ХПК, Mn^0 , Fe, NH_4^+ , NO_3^- , $Ж^0$	ХПК, Fe, Mn^0 , NH_4^+ , $Ж^0$		
Припять	Грунтовые	ХПК, Mn, Fe^0 , NH_4^+ , NO_3^-	NH_4^+ , Fe^0 и Mn^0	Повышенные значения Fe,	Сельскохозяйственное

	Артезианские	Mn ⁰ , Fe ⁰ , NH ₄ ⁺ , ХПК, NO ₂ ⁻	ХПК, NH ₄ ⁺ , Fe ⁰ и Mn ⁰	Mn, соответствующие естественному фону	загрязнение (удобрения), антропогенное (сточные воды)
--	--------------	--	---	--	---

Таблица 1.3. Сравнение национальных стандартов Беларуси, Директивы ЕС и ВОЗ о питьевой воде.

Показатели	Ед. изм.	СанПиН 10-124 РБ 99	Директива ЕС	ВОЗ
Запах	баллы	2	Отсутствие аномальных изменений	Приемлемый потребителю
Вкус	баллы	2	Отсутствие аномальных изменений	Приемлемый потребителю
Цветность	град.	20 (35)	Отсутствие аномальных изменений	15
Мутность	мг/л	1,5 (2)	Отсутствие аномальных изменений	
pH	pH	6 - 9	6,5 - 9,0	6,5-8,5
Общая минерализация	мг/л	1 000 (1 500)	-	1500
Общая жесткость	Mmol/l	7,0 (10)	-	10,0
Окисляемость перманганатная и бихроматная (ХПК)	мгО ₂ /дм ³	5,0	5,0	5,0
Нефтепродукты	мг/ дм ³	0,1	-	-
Неионные ПАВ	мг/ дм ³	0,5	-	-
Фенольный индекс	мг/ дм ³	0,25	-	-
Al ⁻³⁺	мг/ дм ³	0,5	0,2	0,2
Ba ²⁺	мг/ дм ³	0,1 (0,7)	-	0,7
Be ²⁺	мг/ дм ³	0,0002	-	-
Fe	мг/ дм ³	0,3	0,2	0,3
Mn	мг/ дм ³	0,1 (0,5)*	0,05	0,5
NO ₃ ⁻	мг/ дм ³	45	50	50
NO ₂ ⁻	мг/ дм ³	2	1,5	1,5
SO ₄ ²⁻	мг/ дм ³	500	250	-
F ⁻	мг/ дм ³	1,5	1,5	1,5
Cl ⁻	мг/ дм ³	350	250	250
Термотолерантных колиформных бактерии	Кол.-во единиц в 100 мл	0	0	0
Всего колиформных бактерий	Количество единиц в 100 мл	0	0	0
Количество колоний	Количество коло-	не более 50	Отсутствие	Отсутствие

Показатели	Ед. изм.	СанПиН 10-124 РБ 99	Директива ЕС	ВОЗ
	ниееобразующих единиц в 1 мл		аномальных изменений	аномальных изменений
Энтерококки	Количество коло- ниееобразующих единиц в 100 мл	0	0	0
Споры сульфит- редуцирующих клостридий	Количество спор в 20 мл	0	0	0
Цисты лямблий	Количество цист в 50 мл	0	-	0

1.3. Основные технологические решения по обработке подземных вод, содержащих железо и аммонийные соли в напорном варианте

Основные методы обработки артезианских подземных вод, следующие /21,27,32,37/:

- метод упрощенной аэрации;
- «сухая фильтрация»
- интенсивная аэрация;
- реагентная обработка;
- биологический метод;
- ионообменная очистка воды, обратный осмос;
- метод закачки обогащенной кислородом воды в подземные пласты.

Вариант *упрощенной аэрации* используется для большинства станций водоподготовки населенных мест при местном превышении железа до 10 /37/, но, желательнее, до 5 мг/дм³.

Загрузка фильтров состоит из песка или модифицированных материалов, например, сорбент АС, а подача воздуха на окисление железа производится эжекторами или компрессором. Опыт 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 /21,32/.

«*Сухая фильтрация*» /32,37/ применяется в тех же случаях, что и метод фильтрования с упрощенной аэрацией, но при меньших исходных концентрациях железа — до 6 мг/л, а также при концентрациях аммония более 1,5 мг/л.

Сущность этого метода заключается в фильтровании воздушно-водяной эмульсии через сухую (незатопленную или полузатопленную) зернистую фильтрующую загрузку нагнетанием большого количества воздуха с последующим отводом его избытка из междонного пространства. В поровых каналах фильтрующей загрузки образуется турбулентный режим движения смеси, характеризующийся завихрениями и противотоками, что способствует молекулярному контакту воды с поверхностью зерен фильтрующей загрузки. При этом на зернах фильтрующей загрузки формируется плотная адсорбционно-каталитическая пленка из со-

единений железа (и марганца, если он присутствует в воде), повышающая эффективность процессов деманганации и обезжелезивания.

Пленка состоит из магнетита, сидерита, гетита и гематита, имеющих плотную структуру и объем в 4–5 раз меньше, чем гидроксида железа при упрощенной аэрации-фильтровании. Поэтому темп прироста потерь напора в фильтрующей загрузке при сухом фильтровании ниже, а продолжительность фильтроцикла выше, чем в обычных фильтрах. Обычно грязеемкость фильтра загрузки может быть 50–75 кг железа на 1 м³ загрузки.

Метод сухого фильтрования обычно используется в открытых фильтрах, т.к. в напорном варианте контролировать этот процесс намного сложнее.

Интенсивная аэрация в напорном варианте может осуществляться воздухом или озоном O_3 . При интенсивной аэрации /21,32,42,43/, если в воде кроме железа присутствуют еще другие загрязнители, желательно устройство отдельного напорного аэратора перед фильтрами. При этом подачу воздуха на окисление веществ и микроэлементов в аэратор желательно производить компрессором.

При использовании подземных вод, в которых марганец присутствует совместно с железом, обычно оценивают возможность его удаления непосредственно в процессе обезжелезивания без дополнительного применения реагентов.

В качестве загрузки фильтров могут быть применены 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 /42,43/.

Очистку воды от марганца в отсутствие железа следует производить безреагентным или реагентным методами:

- глубокой аэрацией с последующим фильтрованием;
- каталитическим окислением и фильтрованием;
- фильтрованием через модифицированную загрузку;
- введением реагентов-окислителей с последующим фильтрованием.

Применение реагентных методов следует предусматривать в случае, если безреагентный метод не обеспечивает требуемую степень очистки.

Удаление из воды марганца методом ионного обмена следует предусматривать при одновременном проведении обезжелезивания и умягчения воды.

Для удаления аммиачного азота или аммонийных солей нередко применяют дополнительные методы обработки воды. При наличии в воде небольших концентраций аммонийных соединений рекомендуется применять озонирование с последующим фильтрованием через гранулированные активные угли, или использовать **биологический метод** посредством микробиологического окисления аммонийных соединений до нитратов /32/.

Для поддержания биологического процесса удаления аммонийных соединений в воду необходимо добавлять фосфаты в малых количествах — до 0,05 мг/дм³.

Использование хлора для удаления аммонийных соединений не допускается.

Если одновременно содержатся повышенные концентрации железа, марганца и аммонийных соединений, то их рекомендуется удалять «сухой фильтрацией» /37/. Скорость фильтрования следует принимать от 5 до 20 м/ч, соотношение расхода воздуха к расходу воды — от 1:1 до 3:1, высоту слоя фильтрующей загрузки — от 1,6 до 2 м.

К интенсивной аэрации воды сложного состава дополнительно могут использоваться и *специальные окислители*, которые интенсифицируют процессы окисления различных загрязнителей.

В качестве реагентных окислителей используются хлорсодержащие реагенты, например, гипохлорит натрия NaOCl или озон, реже марганцевоокислый калий /32/.

В последнее время в Республике Беларусь стали применять *биохимические технологии* очистки подземных вод сложного состава с использованием микроорганизмов биологически активной загрузки (БАЗ), состоящей, прежде всего, из различных видов железо и марганец бактерий /34,35/

Этот метод получил развитие как в реконструкции существующих станций напорного и безнапорного типа, так и в строительстве новых, является одним из современных направлений, повышающих эффективность удаления загрязнителей в скорых фильтрах и практически универсален при удалении железа, марганца и соединений азотной группы

Основные положения по ведению биологических методов и технологии обезжелезивания при обработке подземных вод, изложены в разных литературных источниках.

Применение биологического способа извлечения железа из воды предусматривает окисление растворенного железа Fe (II) до Fe (III) и Mn (II) до Mn (IV) при помощи железомарганцевых и нитрифицирующих бактерий, функционирующих в непрерывном режиме.

Т.е., при прохождении воды через слой носителя содержащееся в ней двухвалентное железо под воздействием бактерий превращается в нерастворимые соединения трехвалентного железа, которые совместно с отмирающими бактериями выпадают в осадок или задерживаются как на поверхности, так и в фильтрующей загрузке. У типичных представителей Бактерий родов *Leptothrix*, *Metallogenium*, *Siderocapsa* и др., развивающихся в пресных водах с нейтральной или слабощелочной средой, окисление железа, марганца и аммонийных солей 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

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).

При длительной эксплуатации фильтра, возникает биологическая активная загрузка (БАЗ) достаточной толщины, при этом роль биологических процессов возрастает с накоплением биомассы на поверхности загрузки, что сопровождается высокой эффективностью удаления железа (снижение железа в фильтрате до его следов). Избыточная биомасса удаляется при промывке фильтров.

В сущности, биотехнология обработки воды представляет собой два противоположных процесса: биологическое окисление и механическое фильтрование. Если процессы происходят в одном сооружении (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. разделить процессы биоокисления и фильтрования /35/.

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 биореакторе. Последующее фильтрование производят на фильтрах с плавающей загрузкой (пенополистирол, гранулированный полиэтилен). Такая схема обеспечивает наиболее устойчивую и эффективную работу станции в широком диапазоне состава обрабатываемой воды с включением биологических процессов окисления железа, марганца и эффективного удаления растворённых газов (диоксида углерода, сероводорода и др.).

Преимущества использования данной установки:

1. Данный метод является практически универсальным для обработки подземных вод сложного состава с большой концентрацией органических веществ.

2. Примененные технические решения уже сами по себе автоматически обеспечивают экономичную и надежную работу установки независимо от подачи воды водозаборными сооружениями, что упрощает и удешевляет автоматику всей системы водоснабжения.

3. Созданы оптимальные условия для очистки воды по методу биохимического окисления загрязнений, прежде всего железа, и обеспечивают следующие основные параметры работы установки:

- продолжительность фильтроцикла - до 20 суток и более;
- время регенерации (промывки) фильтра - 5-8 мин.

4. Малые объемы промывных вод упрощают проблему их обработки.

5. Глубокая очистка воды от железа и других загрязнителей (до следов) значительно увеличивает межремонтный период дренажных систем фильтров.

6. Постоянная работа установки в безнапорном варианте снижает затраты энергии на ее подачу до 20% и более.

При всех преимуществах этот метод все же является очень дорогим среди других аэрационных. Также необходимо контролировать стабильность воды, что обычно не предусмотрено на станциях обезжелезивания воды. Нельзя использовать для промывки фильтров хлорированную воду. Есть и другие недостатки.

Варианты использования *ионообменного метода* или *обратного осмоса* могут быть использованы при предельно высоких концентрациях загрязнений железа, марганца и аммонийных солей (соединений NH_4^+), а также хлоридов и сульфатов, общего солесодержания и жесткости /37,42,43/.

В первом случае применяются катионные и анионные фильтры или фильтры смешанного действия.

Недостаток: большие расходы воды на собственные нужды (до 40% от объемов исходной воды), требуются реагенты на регенерацию, образуются солевые элюаты, которые часто нужно дополнительно обрабатывать отдельно.

Обратный осмос относится к наиболее перспективным и широко применяемым методам очистки и подготовки воды. Также, как и биологический, этот метод является универсальным для любого состава подземной воды, хотя и самым дорогим. Установка обратного осмоса способна удалять из воды частицы с размерами 0,001-0,0001 мкм. В этот диапазон попадают соли жесткости, сульфаты, нитраты, ионы натрия, малые молекулы, красители. Для более эффективной работы рекомендуется применение предварительных ступеней очистки (механическая очистка и микро-, ультра- или нанофильтрация), удаляющих более крупные частицы.

Промышленная установка обратноосмотического опреснения включает обычно следующее оборудование: фильтр тонкой очистки воды, система реагентной подготовки, насос высокого давления, блок фильтрующих мембранных модулей, датчики и приборы управления.

Управление системой обратного осмоса можно осуществлять в полуавтоматическом и автоматическом режиме.

Для осуществления обезжелезивания и обезмарганцевания воды непосредственно в *водоносном пласте* предусматривают циклическую закачку воды, обогащенной кислородом в водоносный пласт через эксплуатационную или поглощающую скважину (скважины) для создания окислительной зоны /37/.

Продолжительность закачки и забора воды из эксплуатационной скважины следует определять при проведении инженерных изысканий и уточнять при проведении пуско-наладочных работ.

Продолжительность закачки и забора воды из эксплуатационной скважины следует определять при проведении инженерных изысканий и уточнять при проведении пуско-наладочных работ.

Обогащение воды кислородом воздуха осуществляют с помощью эжектора, причем для очистки воздуха необходимо предусматривать фильтр. Для удаления растворенных газов из воды, подготовленной для введения в водоносный пласт, следует предусматривать дегазатор, рассчитываемый на продолжительность пребывания в нем воды от 3 до 5 мин.

Следует отметить, что данный метод для малых расходов воды на ее потребление в Республике Беларусь еще практически не изучен.

Основные технологические схемы обработки подземных вод приведены в приложении А.

1.4. Выводы по главе 1.

1. Проблема улучшения качества водоснабжения в малых населенных пунктах Республики Беларусь с удалением избыточного содержания железа, и других сопутствующих загрязнений в подземных водах, неразрывно связана с проведением комплекса мероприятий по строительству, реконструкции рассматриваемых объектов.

2. На получение воды хозяйственно-питьевого назначения влияет исходный состав воды из скважин, завышенные нормы водопотребления и отсутствие учета водопотребления, неудовлетворительный гидравлический режим работы системы.

3. Технология обработки подземных вод должна определяться непосредственно у источника водоснабжения.

4. При проектировании, строительстве и эксплуатации объектов водоснабжения надо помнить, что подаваемая к потребителю вода обязательно должна иметь нормативные показатели по СанПиН 10-124 РБ 99 с учетом экологического и социального воздействия используемой системы водоснабжения.

5. Для станций водоподготовки следует предусмотреть возможность их подключения к автоматизированной системе диспетчерского управления (АСДУ), с целью удаленного мониторинга и контроля объектов.

6. Для равномерной работы станции водоподготовки желательно использовать водонапорную башню, или резервуары чистой воды, где это будет признано целесообразным.

ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫБРАННОГО ОБЪЕКТА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Характеристика выбранного объекта

Для проведения эксперимента необходимо было выбрать малый объект водоснабжения, артезианские воды которого содержали в своем составе железо и аммонийные соли.

По этим показателям была определена деревня Соколище Россонского района Витебской области. Населенный пункт расположен в 20 км на юг от районного центра Россоны и в 119 км на северо-восток от г.Витебска /45,46/. Состоит из старой постройки и агрогородка, общая длина деревни составляет 3 километра вдоль шоссе Р46, насчитывает 226 человек населения (в зимнее время). Центр сельсовета. Шоссе в границах деревни название – имени генерала Якова Кульнева. Этот военачальник был первым русским генералом, который погиб во время войны 1812-го года и произошло это неподалеку в деревне Клястицы,

На погодные условия в регионе оказывают влияние Атлантические воздушные массы, приходящие со стороны Прибалтики. В целом, для области характерен более умеренно-теплый, по сравнению с остальной частью страны, характер климата – меньшая амплитуда температур и большая влажность. Зима умеренно-холодная продолжительная. Устойчивый снежный покров образуется в конце ноября начале декабря.

В целом климат района вполне благоприятен для успешного произрастания следующих древесных пород: сосна, ель, береза, осина, ольха черная к ольха серая.

Среднегодовая температура $+5,1^{\circ}\text{C}$; января $-7,8^{\circ}\text{C}$ июля $+17,5^{\circ}\text{C}$; Среднегодовая сумма осадков – 545 мм, из которых примерно $1/3$ приходится на холодный период года, $2/3$ – на апрель-май. Максимальная глубина промерзания суглинистых грунтов составляет 138 см.

Территория района расположена в северной части Полоцкой низменности. Рельеф района носит относительно свежий отпечаток деятельности Валдайского (Вюрмского) ледника. Высота над уровнем моря 130-150 м,

Общее суточное водопотребление — $65,3 \text{ м}^3$.

В первоначальном варианте режим водопотребления осуществлялся при помощи насоса скважины. В дальнейшем в качестве регулирующей емкости была использована существующая водонапорная башня, емкостью 30 м^3 высотой ствола 18 м. Монтаж станции водоподготовки осуществлен ООО «Амазон».

Источником хозяйственно-питьевого водоснабжения н.п. Соколище является водозабор, состоящий из одиночной артезианской скважины №21901/71 с установленным в ней насосным агрегатом ЭЦВ 6-6,5-90. Данный водозабор относится к третьей категории надежности /39/.

Дебет существующей артезианской скважины составляет 18 м³/ч. Глубина – 118 м. Водоносный горизонт вскрыт на отметке 98 м. Статический уровень – 14 м. Динамический уровень – 44 м.

Геологический разрез артезианской скважины № 21901/71 расположенной в д. Соколище Россонского района представлен на рисунке 3.

Для очистки воды в 2020 г была построена станция водоподготовки напорного типа, номинальной производительностью 4 м³/ч (приложение Б).

Техническая характеристика параметров работы и оборудования станции водоподготовки приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Техническая характеристика параметров работы и оборудования станции водоподготовки (исходный вариант)

№ п/п	Показатели	Значение показателей
1	Схема водоснабжения объекта	Скважина – станция водоподготовки – водопроводная сеть с башней напорного типа
2	Производительность станции, м ³ /ч	4,0
3	Исполнение фильтров-модулей	Стальной с боковыми люками, двухстороннее цинкование.
4	Количество фильтров, шт.	2
5	Диаметр фильтра, м	0,75
6	Площадь фильтрования одного фильтра, м ²	0,441
7	Скорость фильтрования, м/ч	4,53
8	Фильтрующая загрузка	Песок, 0,7-1,2 мм, высота 1 м
9	Система аэрации	компрессор СБ4-24.OLD
10	Тип промывки	Водяная с обратным током из водонапорной башни
11	Расход промывной воды при интенсивности 18 л/с*м ² , л/с (м ³ /ч)	7,95
12	Продолжительность промывки, мин	5
13	Объем воды на одну промывку одного фильтра, м ³	2,4
14	Продолжительность фильтроцикла, ч	~168 (определяется экспериментально)
15	Срок эксплуатации станции, лет	30 (т.ч. загрузки - 15)
16	Количество водомерных узлов (ВУ)	3 (исходной, очищенной и промывной воды) счетчик воды Decast Metronic Ду65 СТВХ-65 ДГ, Decast Metronic счетчик воды вскм 90-40 дг – 2 шт.
17	Установка обеззараживания	2 шт., УОВ-УФТ-П-7
18	Компрессор для пневмоуправления запорными устройствами	2 шт. СБ4-24.OLD
19	Датчик потока	FQS U30G

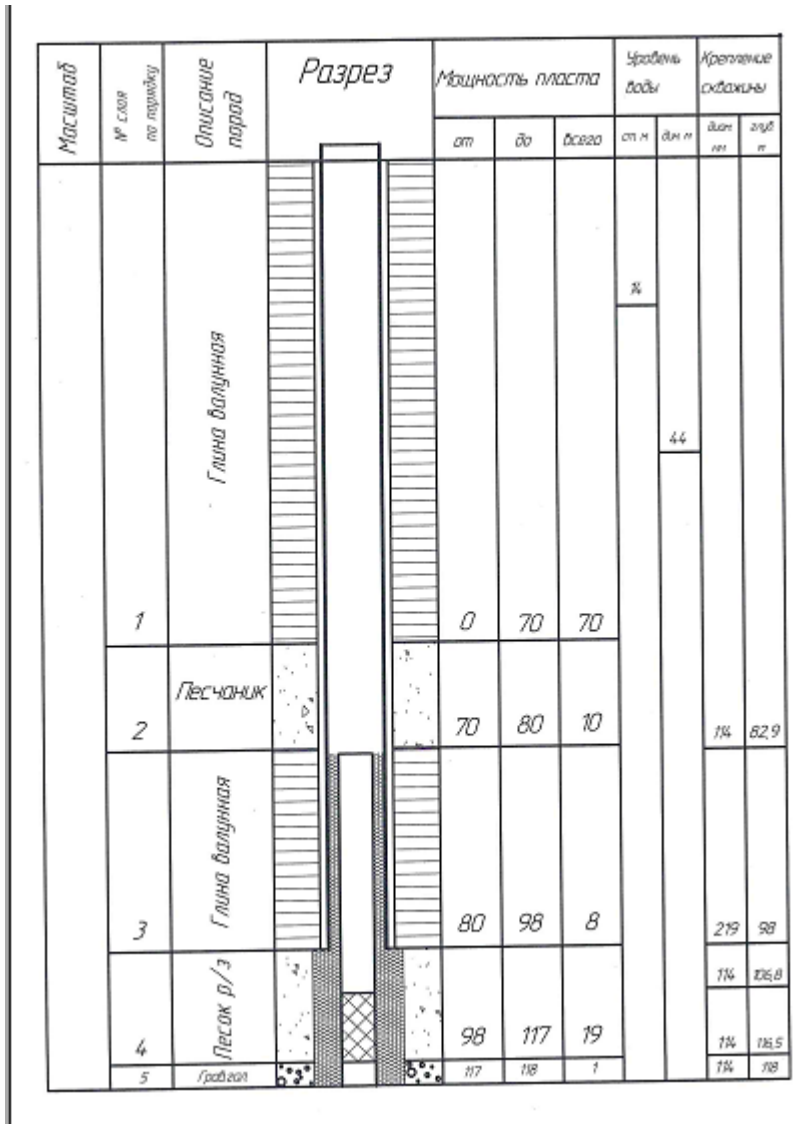


Рисунок 2.1. Геологический разрез артезианской скважины № 21901/71 расположенной в д. Соколище, Россонского района, Витебской области.

2.2. Методика проведения исследования

Состав воды из подземного источника при проектировании станции водоподготовки был принят по результатам анализов в зимний период, когда концентрация железа составляла порядка 5 мг/л, а аммония NH_4^+ – до 0,7 мг/л. В летний период эти концентрации увеличились (таблица 2.2.). Также произошло увеличение и окисляемости воды, что указывает на наличие органических веществ в воде, кроме аммонийных соединений. В этих условиях станция водоподготовки не смогла обеспечить нормативные показатели по СанПиН 10-124 РБ 99.

По данным аттестованных лабораторий г. Витебска, г. Новополоцка и г. Полоцка, концентрации железа, окисляемости и аммонийного азота в подземных водах значительно возросли, особенно в летний период. При этом, рядом скважиной расположены сельскохозяйственные поля и в относительной близости также фер-

мы крупнорогатого скота, где с азотсодержащими удобрениями и отходами обращаются недостаточно осмотрительно (таблица 2.2).

Таблица 2.2. Характеристика артезианских подземных вод в скважине д. Соколище

Наименование Показателей	Значение показателей
Величина pH (ПДК в пределах 6-9)	7,0-7,3
Величина Eh, мВ	40-60
Минерализация, общая (ПДК=1000мг/дм ³)	264-268
Жесткость общая, (ПДК=7 мг-экв/дм ³)	6.0-6.1
Окисляемость перманганатная (ПДК=5,0 мгО ₂ /дм ³)	5.09-5.31
Хлориды Cl ⁻ (ПДК=350 мг/дм ³)	1-2
Сульфаты SO ₄ ²⁻ (ПДК=500 мг/дм ³)	<2
Железо Fe, общее (ПДК=0,3 мг/дм ³)	2,3-6,0 (сезонное изменение)
Марганец Mn ²⁺ (ПДК=0,1 мг/дм ³)	0.05
Аммонийный азот NH ₄ ⁺ (ПДК=2,0 мг/дм ³)	2,3-3,1
Нитриты NO ₂ ⁻ (ПДК=2,0 мг/дм ³)	0.04
Нитраты NO ₃ ⁻ (ПДК=45 мг/дм ³)	0.38
Сероводород H ₂ S (ПДК=0,05 мг/дм ³)	Отс.

В этих условиях станция водоподготовки не смогла обеспечить нормативные показатели по СанПиН 10-124 РБ 99.

Кроме того, было установлено, что водонапорная башня не могла обеспечить промывку фильтров с требуемым расходом промывной воды.

Таким образом, необходимо было выполнить ряд мероприятий по изменению технологической схемы очистки и подачи к потребителю подземной воды с получением нормативных показателей.

Исследовательские работы выполнялись на лабораторных (50 мм) и производственных фильтрах в следующей последовательности:

- выполнена ревизия существующей водонапорной башни для обеспечения промывки фильтров станции водоподготовки;
- производилось увеличение степени аэрации воды воздухом, используя вместо эжекторов компрессионные установки;
- изменялась схема аэрирования воды перед фильтрами обезжелезивания путем установки аэрационных колонн;
- для интенсификации снижения железа исследована загрузка совместного применения песка и сорбента типа АС;

Общая методика исследований включала:

1. Сбор, анализ и обобщение отечественной и зарубежной научно-технической и патентной литературы, а также производственного опыта, на базе которых выявлялись перспективные решения. Эти решения совершенствовались, модернизировались и вырабатывались новые прогрессивные идеи.

2. Экспериментальные исследования, проводимые в лабораторных и полу-

производственных условиях, для определения химического состава подземных вод, изучения процессов удаления железа и аммония, процесса регенерации фильтрующих загрузок.

Отбор проб воды осуществлялся в соответствии с требованиями ГОСТ 31862-2012 «Вода питьевая. Отбор проб» либо в химически чистые колбы и емкости, либо в стерильные колбы, в зависимости от проводимых экспериментов. Анализ воды осуществлялся в течение суток после отбора в лаборатории филиалов «Витебскводоканал», «Новополоцкводоканал» и «Полоцкводоканал».

3. Испытывались пробы воды:

- исходной, отобранной из водозабора подземного источника;
- отобранные после очистки на лабораторных и производственных фильтрах.

При выполнении экспериментальных исследований применялись физико-химические и технологические методы, опытно-конструкторские разработки, технологические исследования и производственные испытания.

Определение концентрации аммоний-ионов осуществлялось в соответствии с методикой определения минеральных азотсодержащих веществ /8,32/ с использованием коллометрического и потенциометрического методов. Метод позволяет определять аммоний-ионы в природных водах любой минерализации с относительной ошибкой 10%.

Определение железа общего осуществлялось по методике вычисления измерений концентрации железа (III) и железа общего фотометрическим методом сульфосалициловой кислотой /32/.

Цветность исследуемой воды определяется качественно по дихромат-кобальтовой шкале, сравнивая цвет исследуемой воды с растворами, приготовленными на дистиллированной воде.

Для проведения экспериментальных исследований использовались приборы: ФЭК – 56м, сушильный шкаф ШС–3, весы ВЛР–200, магнитные мешалки и металлические брусочки, применяемые для перемешивания на магнитных мешалках, электроды мембранные ЭМ–NO₃–07, ЭВЛ–1М3.1, имеющие аттестаты поверок на период проведения исследований.

Методика проведения исследований, методы и оборудование, используемые в работе, а также процедура обработки экспериментальных данных позволяют получить достоверную информацию о составе и свойствах исследуемых веществ, обеспечивают требуемую точность и достоверность результатов измерений.

Для предварительных анализов полученных результатов были использованы экспресс методы определения железа и аммиака (фотометр Milwaukee MW14 общее железо, тест на аммоний - Ammonium Test colorimetric, 0.2-8.0 mg/l (NH₄⁺), тест на нитраты – Nitrate Test colorimetric, 5-90 mg/l (NO₃⁻), кислородомер Hanna HI 9142).

Автор выражает благодарность начальнику участка обслуживания станций водоподготовки УП «Витебскоблводоканал» Е.С. Ершовой и ст. преподавателю ПГУ Е.С. Велюго в помощи при проведении исследований по обработке подземных вод, содержащих железо и аммоний.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ ЖЕЛЕЗО И АММОНИЙ

3.1. Подготовка и проведение эксперимента

Эксперименты по обработке подземных вод на станции водоподготовки проводились в летне-осенние периоды 2020-2021 гг.

Вариант 1. Метод упрощенной аэрации с последующим фильтрованием по исходной технологической схеме на фильтрах с песчаной загрузкой (2020 г.).

Сжатый воздух подавался в трубопровод исходной воды при помощи компрессоров в каждый фильтр, его избыток удалялся из фильтров вантузами. Станция водоподготовки работала в переменном режиме 2,5-4 м³/ч. Периодичность промывки была принята 1 раз в 7 суток.

Отмечено быстрое и значительное засорение вантузов (продолжительность работы до 3 суток) и всего слоя загрузки, что происходит из-за неудовлетворительной промывки фильтров.

При эксплуатации фильтров остаточные концентрации по железу составили 2,2 (исходная – до 6) мг/дм³, по аммонийному азоту ~ 3.1 (равна исходной) мг/дм³. Окисляемость также была равна исходной и составила порядка 5,31 мгО₂/дм³. Концентрация кислорода в воде после фильтров отсутствовала.

Вариант 2. Для удовлетворительной промывки фильтров станции водоподготовки была проведена ревизия существующей водонапорной башни с заменой участка водопровода с 50 на 100 мм между ними. Это позволило упорядочить равномерную работу станции водоподготовки с номинальным расходом 4 м³/ч и осуществлять нормальный режим промывки фильтров, которая была установлена 1 раз в сутки. Замерами было получено значение соотношения подачи воздуха в обрабатываемую воду 3:1. При эксплуатации в этом варианте и постоянном режиме подачи воды остаточные концентрации по железу составили 1,4 мг/дм³, по аммонийному азоту – 2,2 мг/дм³. Концентрация кислорода в воде после фильтров также отсутствовала.

Учитывая, что в виду отсутствия прибора невозможно было определить окислительно-восстановительный потенциал Eh , можно только предположить, что его значения для данной подземной воды будут менее 110 (порядка 60-80) мВ, что и затрудняло ведение окислительных процессов по железу и аммиаку.

Полученные результаты по двум вариантам экспериментов (вторая половина 2020 г.) свидетельствует о том, что такая методика обработки подземных вод сложного состава не может работать без усовершенствования самой технологии водоочистки.

В дальнейшем эксперименты проводились при постоянном режиме работы станции водоподготовки.

Вариант 3. Вместо непосредственной подачи воздуха в фильтры была установлена аэрационная напорная емкость с винтовым диспергатором. Подача

воздуха осуществлялось от компрессора. Время контакта воды с воздухом в аэраторе составила 2-3 мин, там же производилось удаление избыточного воздуха, после чего вода подавалась на фильтры, где остаточный воздух удалялся через вантузы. (Приложение В) В очищенной воде концентрация железа снизилась до 0,7-0,8...1,0 мг/дм³. Концентрация кислорода в воде после аэратора увеличилась до на выходе составила в пределах 0,2-0,5 мг/дм³. Очевидно, что повышение концентрации кислорода после аэратора позволило увеличить эффект удаления железа, но все равно не достигало желаемого результата – 0,3 мг/дм³.

В дальнейшем на аэрационной колонне было перекрыто удаление избыточного воздуха и увеличен диаметр вантузов, т.е. воздух полностью удалялся уже в фильтрах. Концентрация кислорода в воде после аэрации достигала свыше 8,5 мгО₂/дм³, но после фильтров все равно была всего лишь 0,5 мгО₂/дм³. В очищенной воде не было достигнуто нормативное содержание железа, которое снизилось до 0,7...0,9 мг/дм³, удаление аммонийного азота происходило незначительно и составляло выше 2,1 мг/дм³. Увеличение диаметра вантузов фильтров позволило повысить промежуток между их прочистками 1 раз в 3 суток, что является наиболее рациональной величиной, при которой, с одной стороны, засорение загрузки фильтров не превышало 1%, а с другой не допускалось ухудшение санитарных показателей.

Вариант 4. Аэрационная колонна была загружена кольцами Паля (пластмассовые трубки диаметром и высотой 30 мм). Также применена модифицированная загрузка в фильтрах, состоящая из песчаной загрузки фильтров и сорбента АС (фракция 1,5...3,0 мм.) в соотношении 1:1 и общей высотой 1,0 м (осень 2021 г). Предварительные эксперименты были проведены на лабораторных, а уже затем на производственных фильтрах. Результаты практически были идентичные.

Сорбент АС представляет собой искусственный фильтрующий материал, который имеет большую площадь поверхности.

Гранулированный фильтрующий материал терракотового цвета (светло-оранжевого) изготовленный из природного сырья, с содержанием основных компонентов: SiO₂ до 84%; Fe₂O₃ не более 3.2%; Al₂O₃, MgO, CaO - 8%.

Выпускается в гранулах и используется для подготовки воды хозяйственно-питьевого назначения.

Сорбент АС действует как катализатор окисления в реакциях взаимодействия растворенного кислорода с соединениями железа (II) и (III), в результате которой образуется гидроксид железа (III), который является не растворимым соединением и легко удаляется обратным током воды. Сероводород также окисляется и задерживаются в последующих слоях загрузки с удалением обратным током воды. Сорбент не требует для регенерации применение каких-либо химических реагентов. Необходимой и достаточной является периодическая промывка обратным током воды. В процессе эксплуатации сорбент не расходуется, является очень прочным материалом, физико-химические свойства сорбента отвечают требованиям ГОСТ Р 51641-2000.

Сорбент АС применяется как основной, так и многослойный фильтрующий материал в напорных и безнапорных фильтрах. Благодаря большой площади по-

верхности, сорбент может эффективно работать при высокой скорости потока воды, что невозможно осуществлять с другими загрузками для фильтров в виде гидроантрацита. Одно из самых важных отличий «Сорбента АС» от аналогов заключается в том, что этот материал не подвергался дополнительной обработке покрытиями, изготовленными на основе активных металлов. Благодаря этому исключена возможность того, что сорбент перестанет действовать после того, как эти покрытия истощатся или будут смыты.

Преимущества данного материала:

- долгий срок эксплуатации с низкими ежегодными потерями, менее 2%;
- работает в присутствии сероводорода;
- работает при $\text{pH} \geq 6,5$;
- предварительное хлорирование не снижает активность сорбента.

Каталитически активные компоненты входят в структуру гранулы сорбента равномерно, что обеспечивает эффективную работу даже при разломе гранулы.

Перед тем как начать использовать «Сорбент АС», его нужно замочить в воде на одни сутки и после этого подвергнуть промывке. Скорость фильтрации с использованием сорбента составляет от 10-ти до 20-ти м/ч. Скорость промывки – 40-54 м/ч, если материал расширен на 35-40%.

Проведенными работами был достигнут положительный результат по остаточному железу (устойчиво ниже $0,3 \text{ мг/дм}^3$) и аммонийному азоту менее $1,7 \text{ мг/дм}^3$. Увеличился период между прочистками вантузов 12-15 суток. Рекомендуемый режим промывки 1 раз в 3 суток.

Таблица 3.1. Сводная ведомость результатов экспериментов в лабораторных и производственных условиях по обработке подземной воды от общего железа (Ж) и аммония (А).

№ п/п	Варианты обработки воды	Продолжительность эксперимента							
		0 (исх.)		3		6		9	
		Ж мг/дм ³	А мг/дм ³	Ж мг/дм ³	А мг/дм ³	Ж мг/дм ³	А мг/дм ³	Ж мг/дм ³	А мг/дм ³
1	Упрощенная аэрация с компрессором и фильтрами с песчаной загрузкой (неэффективная промывка)	6,0	2,8	3,5	2,8	2,5	2,8	2,2	2,8
2	Тоже с эффективной промывкой фильтров			2,0	2,6	1,4	2,6	1,4	2,5
3	Тоже с применением аэрационной колонны с гидравлическим аэратором			1,0	2,5	0,9	2,6	0,9	2,5
4	Тоже с применением аэрационной колонны с кольцами Паля и использованием песка и сорбента АС 1:1с общей высотой 1 м.			0,3	1,8	0,3	1,7	0,3	1,8

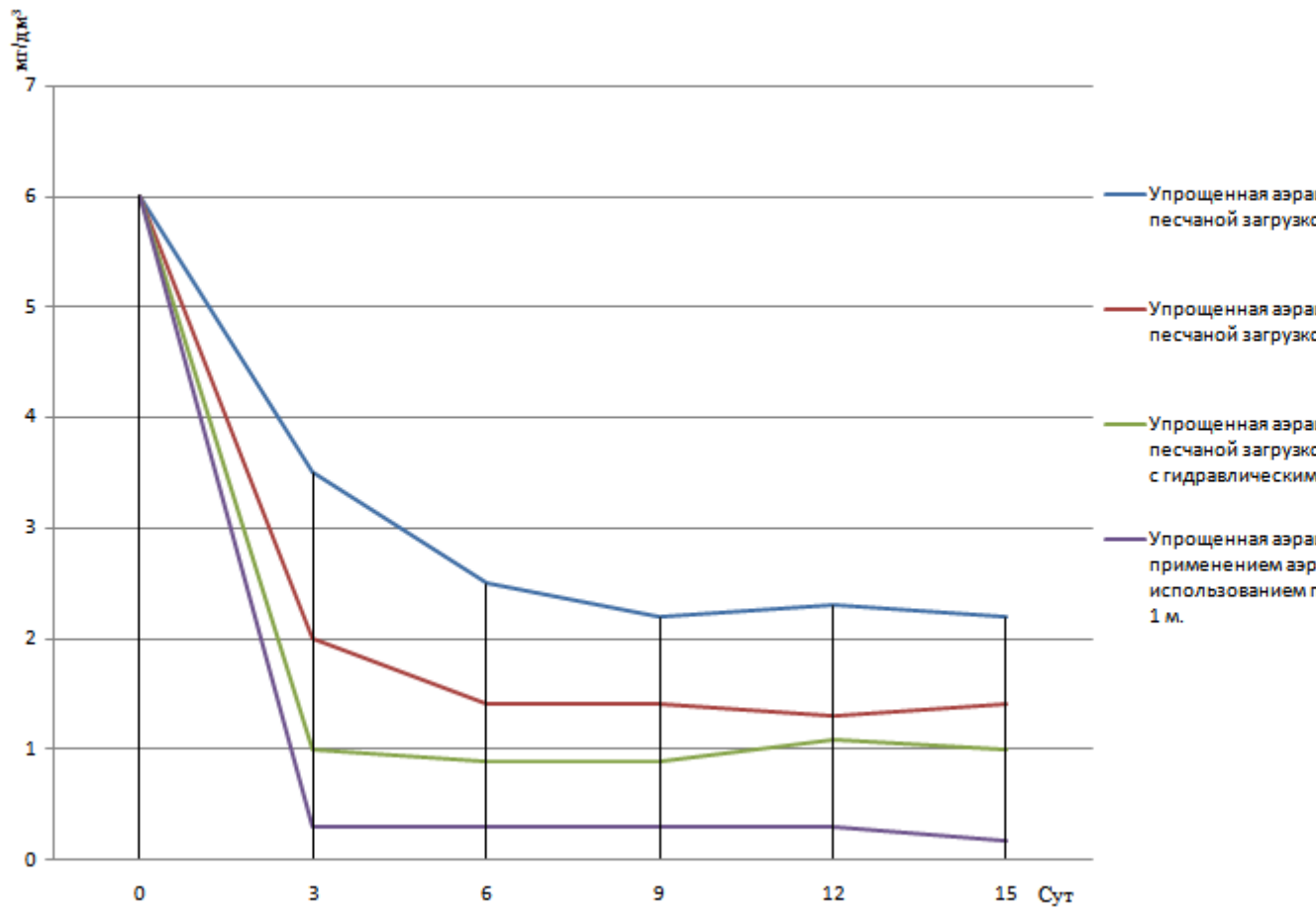


Рисунок 3.1. График изменения концентрации «железо общее» в очищенной воде

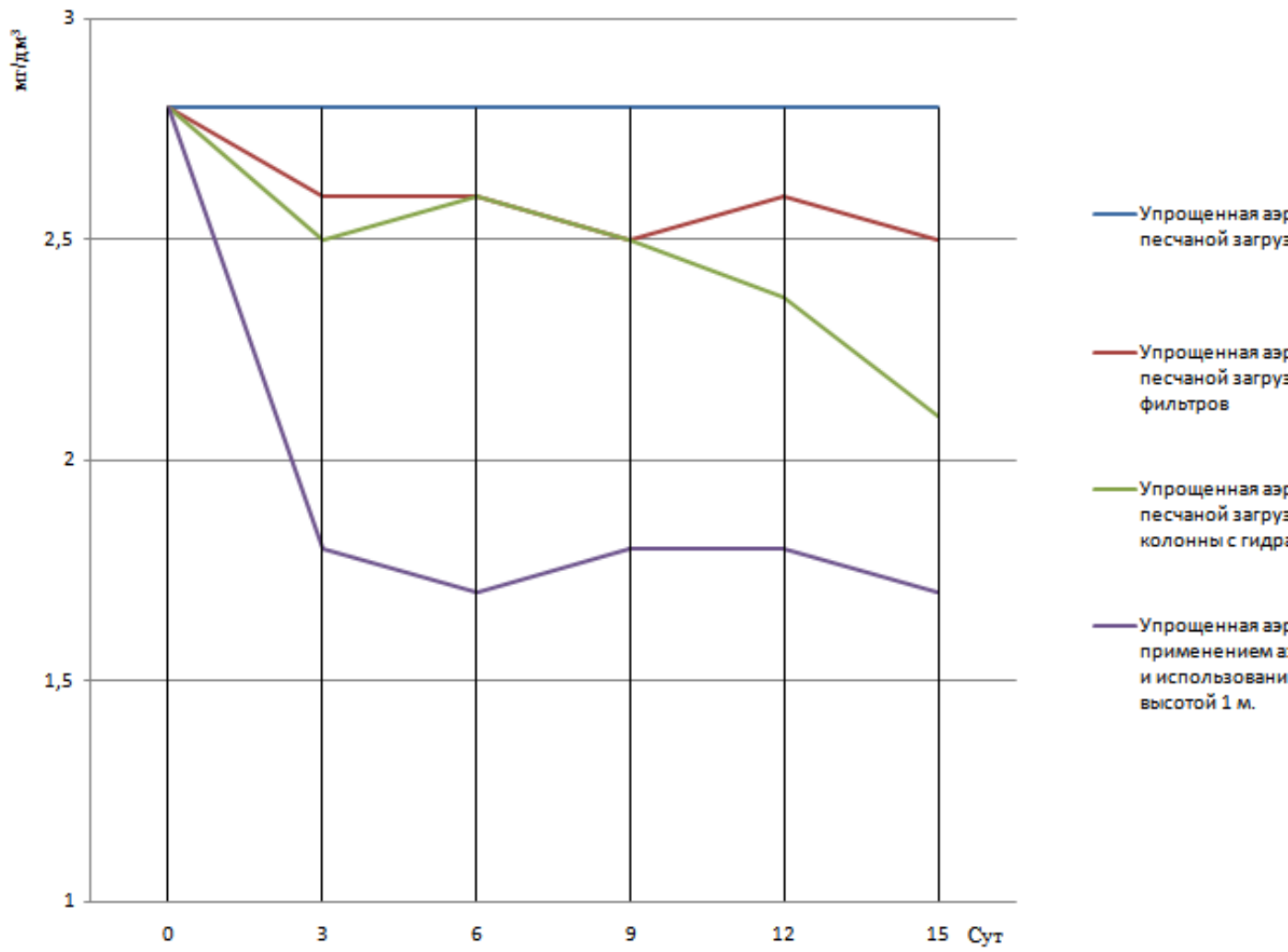


Рисунок 3.2. График изменения концентрации аммония в очищенной воде

3.2. Выводы и обсуждение результатов исследований

Исходный состав воды из скважины имеет значительные концентрации железа до 6 и аммония до 3,1 мг/дм³.

Существующая станция водоподготовки с компрессорной системой аэрации и фильтрами с песчаной загрузкой не смогла обеспечить нормируемые показатели фильтрата в 0,3 и 2,0 мг/дм³.

В 2020–2021 гг. была проведена экспериментальная часть в лабораторных и производственных условиях при обработке реальных подземных вод малого водопотребления для удаления железа и аммонийного азота:

Установлено, что для станций рассматриваемого ряда по производительности до 300-500 м³/сут и содержащих железо и аммонийный азот метод упрощенной аэрации с использованием компрессоров и последующим фильтрованием на песчаных фильтрах не дают положительный нормативный результат по указанным загрязнениям. При содержании аммонийного азота свыше 2,0 или нитратов более 45 мг/дм³ практически только незначительная часть кислорода воздуха расходуется на окисление железа, при этом полностью не решает задача его удаления и снижения концентрации загрязнителей азотной группы.

Установка аэрационной колонны (с подачей воздуха от компрессора) до фильтров улучшает процесс удаления железа, но также не удаляет азотную группу.

Следует отметить, что уже содержание аммонийного азота свыше 0,7...0,8 мг/дм³ или нитратов более 25 мг/дм³ значительно осложняет процессы удаления железа, и желательнее применять компрессоры с повышением соотношения воздуха и воды до 5-6 м³/м³. Использование вместо песка сорбента типа АС в фильтрах, дает стабильный высокий эффект удаления железа 0,3 мг/дм³ и менее, а также снижения аммония или нитратов до 2 мг/дм³ при исходной их концентрации не более 3 мг/дм³.

Сводная ведомость результатов экспериментов представлена в таблице 3.1.

Таким образом, разработана технологическая схема очистки подземной воды от железа и аммония: исходная вода из скважины - компрессор-аэрационная колонна с кольцами Паля - фильтры обезжелезивания и снижения аммонийного азота (песок и сорбент АС) – водонапорная башня – водопроводная сеть. Эта схема позволяет получить устойчивые результаты по остаточным загрязнениям ниже нормативных значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с принятыми Национальными программными документами совершенствования системы управления ВКХ Республики Беларусь основной целью их работы является повышение качества и доступности услуг по водоснабжению и водоотведению для всех категорий потребителей Беларуси, при условии сокращения бюджетного субсидирования, особенно, в малых населенных пунктах.

Целью данной работы является изучить особенности очистки подземных вод сложного состава, содержащих железо и аммиачные соединения на станциях водоподготовки напорного типа и провести исследования с разработкой технологической схемы на конкретном выбранном объекте.

Для достижения поставленной цели были выделены и решены следующие **задачи**:

- а) изучение литературных источников по технологии очистки подземных вод в зависимости от дебита водозаборных скважин и концентрации железа, содержащейся в исходной воде, и анализ полученных данных;
- б) изучение возможных альтернативных решений по удалению железа и аммонийных солей;
- в) качественное исследование и оценка инклюзивного воздействия используемых параметров обработки подземных вод;
- г) разработка технологической схемы очистки воды для конкретного рассматриваемого объекта.

В результате выполненных в магистерской диссертации исследований можно сделать следующие выводы:

1. Проблема улучшения качества водоснабжения в малых населенных пунктах Республики Беларусь с удалением избыточного содержания железа, и других сопутствующих загрязнений в подземных водах, неразрывно связана с проведением комплекса мероприятий по строительству, реконструкции рассматриваемых объектов.

2. На получение воды хозяйственно-питьевого назначения влияет исходный состав воды из скважин, производительность системы водоснабжения, отсутствие учета водопотребления, неравномерный гидравлический режим работы станций водоподготовки.

3. Технология обработки подземных вод должна определяться непосредственно у источника водоснабжения.

4. При проектировании, строительстве и эксплуатации объектов водоснабжения надо помнить, что подаваемая к потребителю вода обязательно должна иметь нормативные показатели по СанПиН 10-124 РБ 99 с учетом экологического и социального воздействия используемой системы водоснабжения.

5. Для станций рассматриваемого ряда по производительности до 200 м³/сут и содержащих железо и аммонийный азот метод упрощенной аэрации с использованием компрессоров и последующим фильтрованием на песчаных фильтрах не дают положительный нормативный результат по указанным загрязнениям.

6. Рациональное применение аэрационных методов снижения железа в присутствии аммонийного азота для малых населенных пунктов указывает на использование технологической схемы с использованием аэрационных колонн с последующим фильтрованием на модифицированных загрузких.

7. Для равномерной работы станции водоподготовки желательно использовать водонапорную башню, или железобетонные резервуары чистой воды, где это будет признано целесообразным.

8. Для станций водоподготовки следует предусмотреть возможность их подключения к автоматизированной системе диспетчерского управления (АСДУ), с целью удаленного мониторинга и контроля объектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

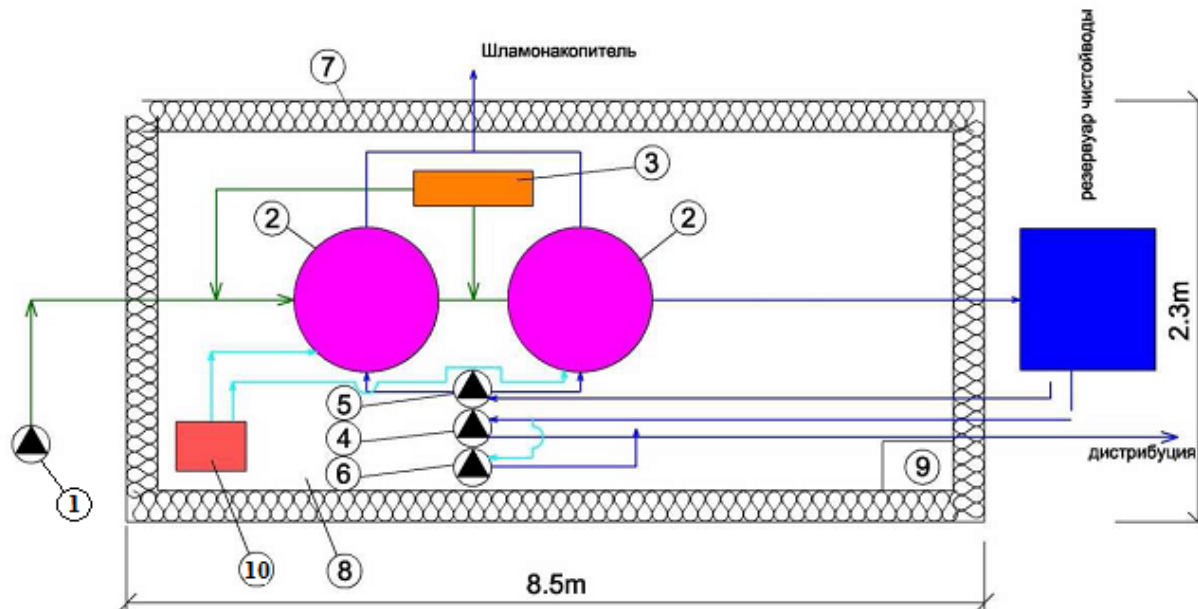
1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. М.: Стройздат, 2003. – 228 с.
2. Алёкин, О.А. Основы гидрохимии/ О.А. Алёкин - Ленинград: Гидрометеоздат, 1953 – 301 с.
3. Бахмат, А.Б. Сравнительный анализ организационно-правовых форм управления предприятий водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) /А.Б. Бахмат // Наука – образованию, производству, экономике. Материалы третьей междунар. науч.-техн. конф. в 2-х т. Том 2 – Минск: БНТУ. – 2006 – С. 210-212.
4. Бахтеев, М.К. Геоэкология: учебное пособие / М.К. Бахтеев. - М.: ИОСО РАО, 2001. – 336 с.
5. Белан А.Е. Технология водоснабжения. М., 2005. – 264 с.
6. Беликов С.Е. Водоподготовка: Справочник. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
7. Бибикина, Т.С. Изменения водохозяйственных характеристик России, Белоруссии и Украины в постсоветский период / Т.С. Бибикина. - М.: Изв. РАН, 2007. – 106 с.
8. Васильчук, Т.А., Осипенко, В.П. Компонентный состав растворённых органических веществ природных поверхностных вод с высокой цветностью/Т.А. Васильчук, В.П. Осипенко//Киевский национальный университет Тараса Шевченко. -Киев,2010-Том 3: Периодически научный сборник/Гидрология, гидрохимия и гидроэкология. - С.136-142.
9. Войтов, И.В. Научные основы рационального управления и охраны водных ресурсов трансграничных рек для достижения устойчивого развития и эколого-безопасного водоснабжения Беларуси / И.В. Войтов. - Минск: Современное слово, 2000. - 476 с.
10. Водная стратегия Республики Беларусь на период до 2020 года. Проект, коллектив авторов, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Минск: 2010. – 43 с.
11. Водные ресурсы Республики Беларусь, их использование и охрана. - Минск: ЦНИИКИВР, 2016. - 24 с.
12. Водный Кодекс Республики Беларусь: Кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-З (ред. от 05.01.2022 г.) // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. - Минск: Амалфея, 2022. - 76 с.
13. Галай, Е.И. Использование природных ресурсов и охрана природы / Е.И. Галай. - Минск: Высшая школа, 2007. – 252 с.
14. Гуринович А.Д. Системы питьевого водоснабжения с водозаборными скважинами: Планирование, проектирования, строительство и эксплуатация. - МН.: УП «Технопринт»; 2004. – 244 с.
15. Гуринович А.Д. Современное состояние и стратегические задачи водного хозяйства Беларуси, Научная статья в журнале «Чистая вода: проблемы и решения», Издательство: АО «Институт микроэкономики» (Москва), № 1-2,

- 2012 г., стр.111-116. (Электронный ресурс). Режим доступа: Дата доступа: 16.09.2019.
16. Гурский В.Л., Пуко Е.И. Организационно-экономические аспекты региональной централизации управления водопроводно-канализационным хозяйством (на примере Витебской области) // Экономическая наука сегодня: сб. научн. ст. / БНТУ; ред. кол. С.Ю. Солодовников [и др.]. – Минск, 2019. - Выпуск № 9. - С. 152-168.
 17. Государственная программа «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2016 – 2020 годы» (подпрограмма «Чистая вода»), утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 21 апреля 2016 г. № 326.
 18. Дементьева, А.В. География Белоруссии / А.В.Дементьева. – Минск-1977.
 19. Дмитриев В.Д., Мишуков Б.Г. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения. М., 2007. – 383 с.
 20. Душкин С.С., Краев И.О. Эксплуатация водоснабжения и водоотведения. Киев: ГСДО, 2003. – 119 с.
 21. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. – М: Стройиздат. 1975. – 176 с.
 22. Кадацкая, О.В. Гидрохимическая индикация ландшафтной обстановки водосборов/ О.В. Кадацкая -Минск: Наука и техника,1987-135 с.
 23. Китиков В. О. Анализ тенденций и рисков развития водопроводно-канализационного хозяйства в Республике Беларусь на современном этапе / В. О. Китиков, В. Л. Гурский, А. О. Болтрукевич // Экономическая наука сегодня: сб. науч. ст. / БНТУ; ред. кол. С.Ю. Солодовников [и др.]. – Минск, 2019. - Выпуск № 9. - С. 152-168.
 24. Коронкевич, Н.И. Гидрологический трансграничный перенос в странах СНГ.
 25. Кудельский А.В. Пашкевич В.И. Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси. – Минск: Белорусская наука. 2014. – 271 с.
 26. Кудельский А.В. Подземные воды Оршанской впадины. – Минск: Белорусская наука. 2019. – 131 с.
 27. Кульский, Л.А. Основы физико-химических методов обработки воды М.: МКХ РСФСР, 1962-221 с.
 28. Концепция совершенствования и развития жилищно-коммунального хозяйства до 2025 года, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь 29.12.2017, № 1037.
 29. Логинов, В.Ф. Водный баланс речных водосборов Беларуси / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек. - Минск: Тонпик, 2006. - 161 с.
 30. Миланова, Е.В. Использование природных ресурсов и охрана природы: учеб. пособие / Е.В. Миланова, А.М. Рябчиков. - Минск: Высшая школа, 1986. - 286 с.
 31. Никаноров, А.М. Гидрохимия: учебник/ А.М. Никаноров. -2-е изд. перераб. и доп. -Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2001 – 444 с.

32. Николадзе Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод. – М: Стройиздат, 1978 г. - 160 с.
33. Об охране окружающей среды: Закон Республики Беларусь от 26.11.1992г. № 1982-ХП (ред. от 20.07.2006 г.) // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. - 2002. - № 2 - 4. - 9 с. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016 – 2020 годы, утвержденная Указом Президента Республики Беларусь от 15 декабря 2016 г. № 466.
34. Седлуха С. П. Биологический метод очистки подземных вод от железа / С. П. Седлуха, О. С. Софинская // Вода и экология: проблемы и решения. – 2001. – №1 – С. 13 – 21.
35. Седлухо Ю.П. и др. Очистка сложных многокомпонентных вод биохимическими методами // Вода Magazine – 2014, №6 (82).
36. Сериков Л.В., Шиян Л.Н., Тропина, Е.А., Хряпов, П.А., Савельев, Г.Г., Метревели, Делай, Г.М. Колоидно-химические свойства соединений железа в природных водах/Л.В.Сериков//Известия Томского политехнического университета. -2010.-№3.- С.28-33.
37. СН 4.01.01-2019. Строительные нормы республики Беларусь. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Министерство архитектуры и строительства РБ. Минск. 2020. – 76 с.
38. СН 4.04.02-2019. Строительные нормы республики Беларусь. Канализация. Наружные сети и сооружения. Министерство архитектуры и строительства РБ. Минск. 2020. – 83 с
39. Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл. 2009 г. // Под ред. В.Ф. Логинова. - Минск: Минсктиппроект, 2010. - 196 с.
40. Стратегия в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 года, одобренная решением коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 28.01.2011 г. № 8-Р.
41. Фрог Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог А.П. Левченко. – М.: а. Издательство МГУ, 2003. – 680 с.
42. Ющенко В.Д., Велюго Е.С., Рашкевич Е.И., Просолов В.П. Седлуха С.В. Основные пути и решения проектирования систем водоподготовки малых населенных пунктов в республике Беларусь. Полоцкий Государственный Университет. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки, 2021.
43. Ющенко В.Д. Велюго Е.С. Рашкевич Е.И. К вопросу совместного удаления железа и аммонийного азота при аэрационной обработке подземных вод малых населенных пунктов. Probleme actuale ale urbanismului si amenajerii teritoriului. Conferinta tehnico-stiintifica internationala, Chisinau, noiembrie 2020.
44. Belarus Water Sector Framework 2nd Phase – Recommendations and Roadmap for Sector Regionalisation. Final report of May 02, 2019.
45. Vitebsk Pilot Regionalisation Review and Recommendations Report Preliminary Recommendations – Summary of August 25, 2018.

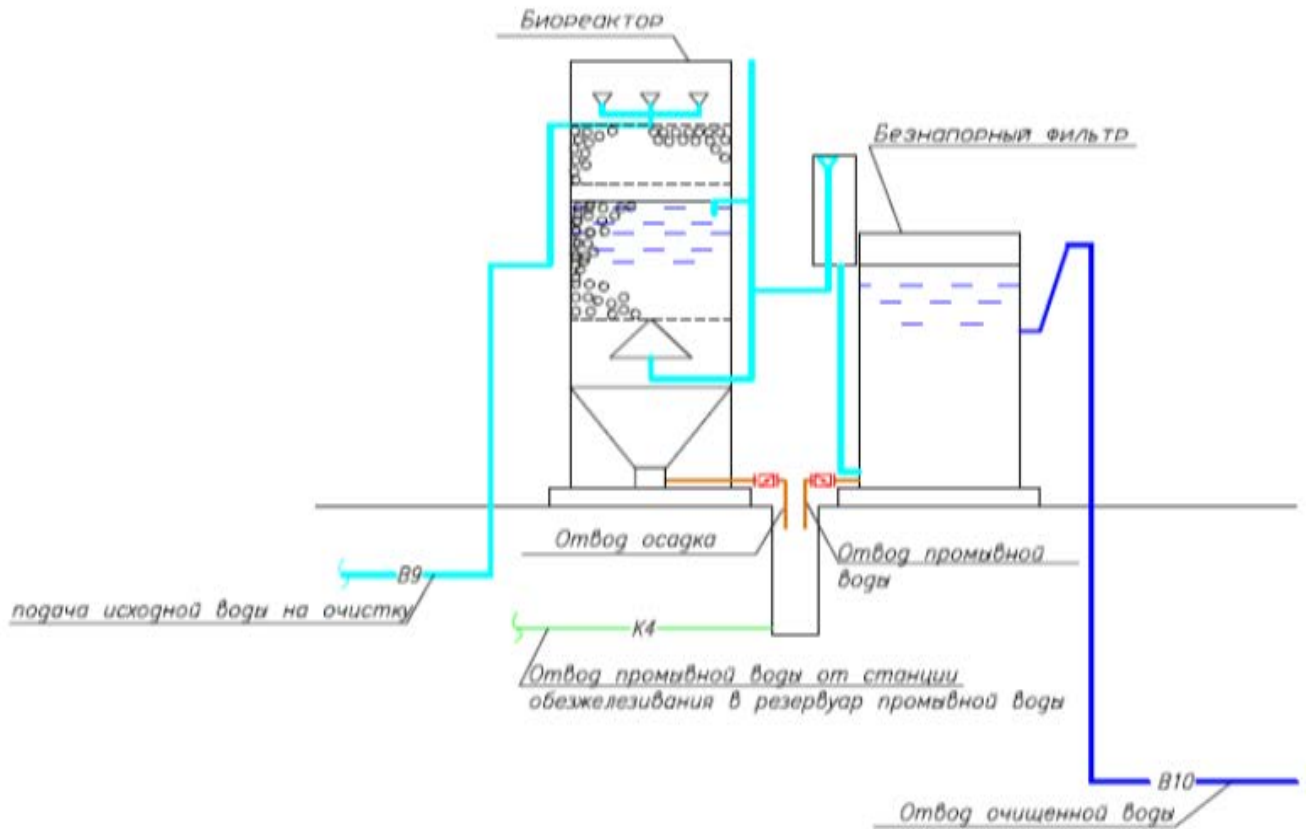
46. North Belarus Clean Water Sub-Project: Financial Analysis Report. Final report of November 29, 2018.
47. North Belarus Clean Water Sub-Project: Technical Assessment Report. Final report of November 29, 2018.
48. North Belarus Clean Water Sub-Project: Environmental and Social Assessment Report. Final report of November 29, 2018.

Основные технологические схемы обработки подземных вод



Технологическая схема аэрационной обработки подземных вод в напорном варианте (контейнерное исполнение).

- 1 насосное оборудование на скважине - погружные насосы;
- 2 напорные фильтры;
- 3 окислительная установка (если предусмотрен реагентный вариант);
- 4 насосы 2-го подъема;
- 5 насосы подачи воды для обратной промывки;
- 6 насосы для нужд пожаротушения (если предусмотрен запас воды на пожаротушение из РЧВ);
- 7 контейнер / строительные конструкции;
- 8 площадка контейнера;
- 9 электротехническое оборудование и автоматика.
- 10 компрессорная автоматическая установка для упрощенной (могут быть установлены эжектора) или усиленной аэрации.

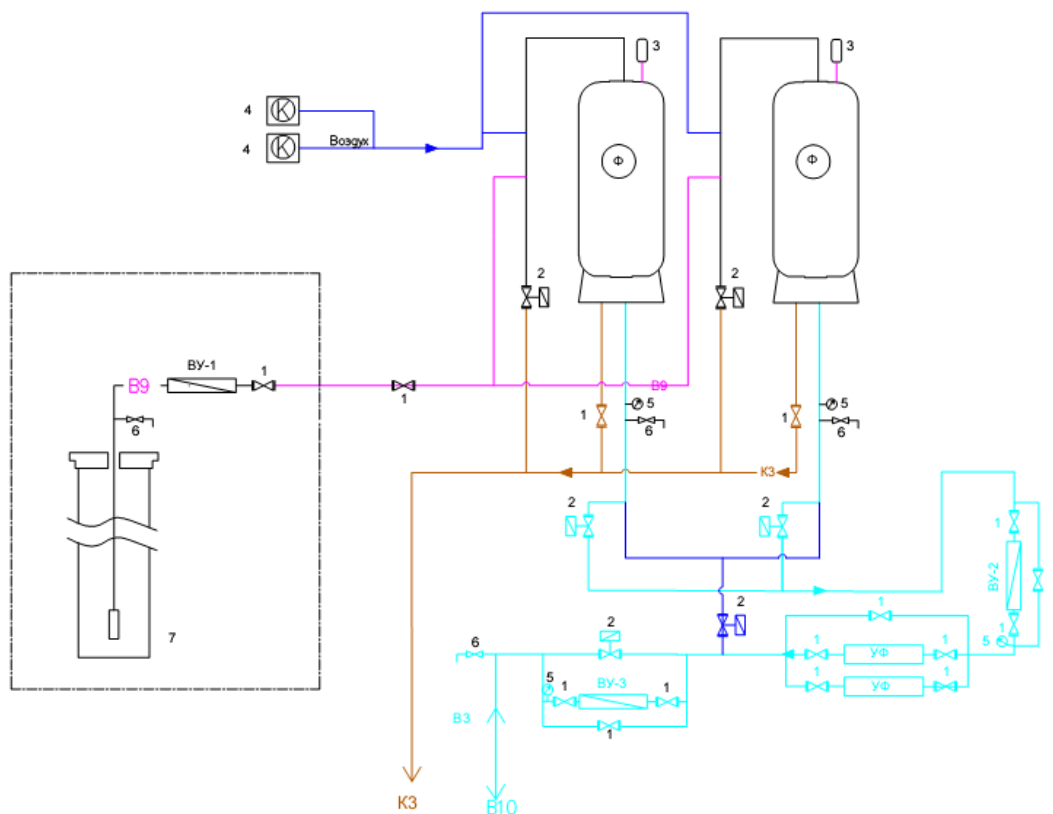


Принципиальная технологическая схема биологической очистки подземной воды



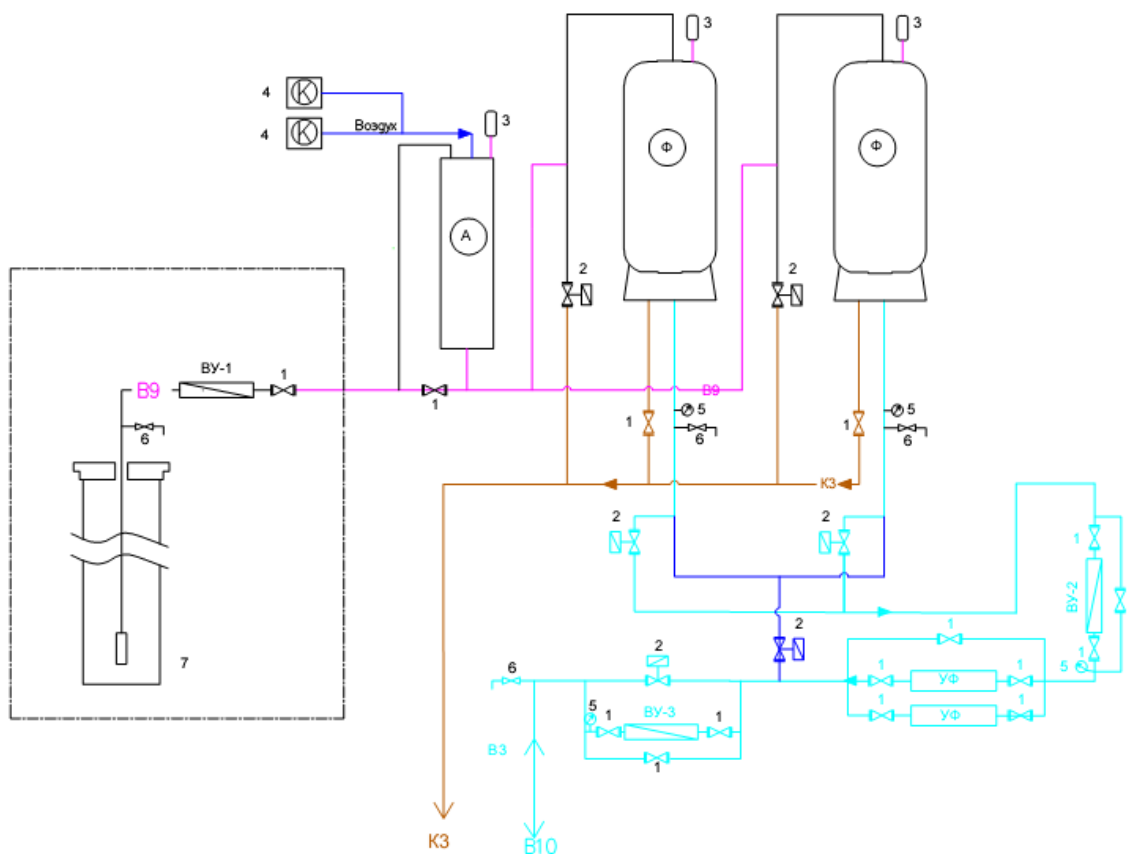
Установка обратного осмоса (3 м³/ч) для обессоливания воды (г.п. Воропаево, Докшицкий район, Витебская область).

**Технологическая схема обработки подземных вод н.п.Соколище,
Россонский район, Витебская область
(исходный вариант)**



- В9 – сырая вода от скважины;
- В10 – очищенная вода в водопроводную сеть и водонапорную башню;
- В3 – промывная вода;
- К3 – промканализация;
- ВУ – водомерные узлы;
- УФ – ультрафиолетовые лампы;
- Ф – фильтр;
- 1 – запорное устройство;
- 2 – запорное устройство с пневмоприводом;
- 3 – вантуз;
- 4 - компрессора;
- 5 – манометр;
- 6 – пробоотборный кран;
- 7 – артезианская скважина.

**Технологическая схема обработки подземной воды н.п.Соколище,
Россонский район, Витебская область**
(предлагаемый вариант)



- В9 – сырая вода от скважины;
- В10 – очищенная вода в водопроводную сеть и водонапорную башню;
- В3 – промывная вода;
- К3 – промканализация;
- ВУ – водомерные узлы;
- УФ – ультрафиолетовые лампы;
- А – аэрационная колонна;
- Ф – фильтр;
- 1 – запорное устройство;
- 2 – запорное устройство с пневмоприводом;
- 3 – вантуз;
- 4 - компрессора;
- 5 – манометр;
- 6 – пробоотборный кран;
- 7 – артезианская скважина.