

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. ЕВФРОСИНИИ ПО-
ЛОЦКОЙ»

На правах рукописи
УДК 628.16/2.0.04.2

Ершова Елена Сергеевна

**ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ СУЛЬФАТОВ И
НИТРАТОВ НА УСТАНОВКАХ НАПОРНОГО ТИПА**

Диссертация на соискание ученой степени магистра технических наук
по специальности 1-70 80 01 "Строительство зданий и сооружений"

Научный руководитель
Ющенко Виктор Дмитриевич.
кандидат технических наук, доцент

Допущена к защите
«__» _____ 2024 г.
Зав. кафедрой «Теплогазоводо-
снабжение и вентиляция»
кандидат технических наук

_____ Вишнякова Ю.В.

г. Новополоцк, 2024 г.

Содержание

Принятые сокращения и обозначения. Основные понятия.....	3
Введение.....	5
Глава 1. Основные сведения по загрязнителям подземных вод и методам их удаления.	8
1.1. Краткая характеристика основных загрязнителей воды	9
1.2. Величины рН и Eh.	9
1.3. Микроэлементы	10
1.4. Минерализация подземных вод.....	13
1.5. Органические вещества в подземной воде.....	17
1.6. Анализ состава подземных вод в Витебской области.....	20
Глава 2. Основные методы обработки подземной воды.	22
2.1 Особенности обработки воды методом упрощенной аэрации.....	22
2.2.Метод интенсивной аэрации.....	22
2.3. Биологический метод	23
2.4. Ионный обмен.	24
2.5 Обратный осмос.	29
2.6. Выводы.....	39
Глава 3. Характеристика объекта и методика проведения исследования.	41
3.1 Характеристика объекта исследования	41
3.2. Методика проведения анализов воды по рассматриваемым показателям.....	42
Глава 4. Исследования и анализ работы установки обратного осмоса для обработки подземных вод сложного состава.	49
4.1 Анализ работы станции обезжелезивания.	49
4.2. Установка обратного осмоса	53
4.3 Экспериментальная часть по работе установки обратного осмоса..	57
Заключение	63
Список литературы	677
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	70

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
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 .

Хлориды	Концентрация хлоридных ионов в подземной воде (Cl ⁻ , мг/дм ³)
Сульфаты	Концентрация сульфатных ионов в подземной воде (SO ₄ ²⁻ , 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.

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 очистки подземных вод.

Станция обезжелезивания - комплекс зданий, сооружений и устройств, предназначенных для удаления из подземных вод железистых соединений.

Ионный обмен - метод обработки воды путем ее пропуска фильтры с загрузкой из ионообменных материалов.

Обратный осмос – метод обработки воды путем ее пропуска через пористую мембрану под большим давлением.

Введение

Республика Беларусь ежегодно потребляет порядка 1,3 млрд. м³, т.ч. 0,9 млрд. м³/год подземных пресных вод.

Все населенные пункты Республики в качестве источника водоснабжения используют подземные воды (только г. Минск частично использует поверхностные воды). Их доля в общем балансе водопотребления составляет около 88%.

По международным экспертным оценкам Республика Беларусь относится к одной из немногих стран, которые имеют прогнозируемые значительные запасы воды, т.ч. и подземной, использование которой может создавать благоприятную, безопасную и безвредную среду. Республика располагает достаточными ресурсами возобновляемых поверхностных и подземных вод для удовлетворения как текущих, так и ожидаемых в перспективе потребностей в воде /1-2/

Вода играет основную роль в регулировании физиологических процессов в организме человека и поэтому **признается незаменимым пищевым продуктом**. Тело взрослого человека на 65 % состоит из воды. Вода входит в состав всех его органов и тканей

Беларусь, находящаяся на водоразделе бассейнов рек Черного и Балтийского морей, безусловно, должна разрабатывать эффективную водохозяйственную политику, адаптированную к политике устойчивого развития экономики и учитывать наличие и состояние водных ресурсов, и их трансграничный фактор /3/.

Поверхностные и подземные воды распространены на территории Беларуси повсеместно. Их оценочные естественные ресурсы составляют 15,9 км³ в год /3,4,11/.

В соответствии с «Водным кодексом» Республики Беларусь - водные ресурсы - это запасы **поверхностных и подземных** вод данной территории.

В республике Беларусь существует сеть мониторинга качества воды /5-8,12/, которая подразделяется на следующие компоненты:

- фоновая сеть наблюдений предназначена для изучения естественного (фонового) режима поверхностных и 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 и подземных вод.

Водные ресурсы (включая поверхностные и подземные воды) используются для удовлетворения потребностей хозяйственно-питьевого, производственного, сельскохозяйственного (включая орошение), прудово-рыбного хозяйства, а также целей рекреации.

В последние годы динамика развития водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) области направлена на решение вопросов улучшения качества подаваемой населению питьевой воды из централизованных систем водоснабжения /21/

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.

Каждый житель республики имеет право на чистую воду, а обеспечение чистой водой в нужном количестве и качестве является обязанностью государства /40/.

К концу 2025 года обеспеченность бытовых потребителей водоснабжением питьевого качества должна составить 100%.

Для реализации данной задачи намечено строительство в общей сложности в дополнение к существующим, еще не менее 500 станций обезжелезивания по всей республике.

Исследования проводились для п.г.т Воропаево, расположенного в Поставском районе Витебской области. Для этого региона подземная вода характеризуется наличием взвешенных веществ, повышенным содержанием двухвалентного железа, марганца, а также наличием аммонийного азота. Но, кроме этого часто наблюдаются значительные концентрации общей минерализации, частности солей жесткости и сульфатов.

Трудность обработки для удаления и снижения этих загрязнений в подземной воде определяется их химическими свойствами, что ведет к увеличению

их концентрации в водоносном горизонте, а также способностью накапливаться в подземной воде во всем природном диапазоне $Eh-pH$ состояний водной системы. При очистке воды от солей жесткости и сульфатов надо учитывать, что конечный продукт должен быть экологически чистым [41]. Обязательно надо предусматривать предварительную обработку подземной воды от взвеси, железа и аммонийных солей общедоступными методами, например, аэрационными.

Целью данной работы является изучить особенности очистки подземных вод сложного состава, содержащих повышенные концентрации солей жесткости и сульфатов на установке обратного осмоса и провести исследования по уточнению параметров промывки мембран. Для конкретного рассматриваемого объекта при достижении поставленной цели были выделены и решены следующие **задачи**:

а) изучение литературных источников по технологии очистки подземных вод обратным осмосом от железа и марганца, солей жесткости и сульфатов;

б) качественное исследование и оценка инклюзивного воздействия используемых параметров обработки подземных вод обратным осмосом: условия применения фильтров тонкой очистки, подбор селективных мембран, определение параметров работы установки обратного осмоса в режиме фильтрования

г) разработка порядка проведения регенерации мембранного блока химических промывок установки обратного осмоса.

Практическая значимость данной магистерской диссертации заключается в применении полученных результатов при эксплуатации установки обратного осмоса. Результаты работы были представлены на региональном семинаре по обработке подземных вод (сентябрь 2022 г.) Витебского учебного центра ЖКХ и ГЦ «Жилком» (декабрь 2023 г.). В дальнейшем будут использованы на объектах УП «Витебскоблводоканал».

По результатам работы подготовлена к печати статья (предполагается в сборник ПГУ (срок издания – март 2024 г).

Глава 1. Основные сведения по загрязнителям подземных вод и методам их удаления.

Подземные воды играют значительную роль в развитии различных физико-географических процессов. Они являются частью круговорота воды в природе, составной частью речного стока, осуществляют поставку в реки растворенных веществ, содержатся в земной коре, следовательно, приводят к развитию геоморфологических процессов: суффозия, карст, заболачивание.

Подземные воды характеризуются в основном благоприятными условиями формирования естественных ресурсов, обеспеченных инфильтрацией атмосферных осадков.

В Белоруссии наиболее обильные водоносные горизонты сосредоточены в крупных артезианских бассейнах: Припятском, Оршанском, Брестском, Прибалтийском.

Наибольшие эксплуатационные запасы подземных вод связаны с четвертичными и девонскими отложениями. Меньшие запасы сосредоточены в неоген-палеогеновых, меловых, верхнеюрских и верхнепротерозойских отложениях. Все это относится к палеозойской эре развития Земли (до 60 млн. лет назад) /4,11/.

Величина естественных ресурсов зависит от условий формирования подземных вод, которые наиболее благоприятны для центральной, северо-восточной и западной частях страны. Эксплуатируются в основном неглубоко залегающие (50-200 м) водоносные горизонты, имеющие тесную гидравлическую связь с вышележащими горизонтами подземных вод и поверхностными водотоками.

Потребление питьевой воды на душу населения по городам РБ составляет от 120 до 370, среднее 145 л/сутки.

Наибольшее удельное хозяйственно-питьевое водопотребление отмечено в столице РБ Минске, областных центрах и городах с населением свыше 20 тыс. жителей. В целом, в последние несколько лет, в связи с массовой установкой индивидуальных приборов учета воды, в соответствии с Директивой №3 Президента Республики Беларусь - наметилась положительная тенденция снижения потребления воды населением республики.

Подземная вода подразделяется на грунтовую и артезианскую и представляет собой сложный природный раствор, в котором содержатся все известные химические элементы в виде ионов, комплексных соединений, растворенных, либо газообразных молекул.

При этом состав подземной воде отражается не только большим количеством химических элементов, но и изменчивостью их количественного состава и разнообразием растворенных форм каждого элемента. В воде содержатся многие живые и мертвые микроорганизмы (бактерии), механические и коллоидные вещества, сложные органоминеральные и другие комплексы.

Объектом исследований являются подземные воды Витебской области.

При рассмотрении свойств основных загрязнителей воды и методов их удаления будут более подробно характеризоваться ионообменные и осмотические методы.

1.1. Краткая характеристика основных загрязнителей воды

Свойства природной воды во многом не соответствует физическим законам, которым подчиняются другие вещества.

Прежде всего, необходимо напомнить: когда мы говорим о природной воде, все суждения должны быть отнесены не к воде как таковой, а к водным растворам разных, фактически всех, элементов Земли.

Концентрации загрязнений в подземной воде могут изменяться во времени, на их величину оказывают влияние величины рН и Eh.

Особенности химического состава подземных вод объясняются условиями их формирования. Подземные воды являются практически идеальными природными растворами, в них обнаружено в растворенном виде свыше 80 элементов периодической системы Менделеева.

При контакте подземных вод с окружающими их горными породами и почвами, в воду поступают химические элементы, которые входят в их состав.

Определение химического состава подземных вод имеет большое значение. Руководствуясь существующими нормативами, практическая оценка подземных вод для водоснабжения может быть самой различной.

1.2. Величины рН и Eh.

Реакция воды, величина рН. Для правильного определения химического состава подземных вод и определения технологии их очистки нужно знать концентрацию водородных ионов, или так называемую активную реакцию воды, количественно выражаемую **величиной рН**, которая представляет собой десятичный логарифм концентрации ионов водорода (точнее, их активность), взятый с положительным знаком: $pH = \lg(H^+)$. В нормальных условиях (температура 22°C и 0,1 МПа) в чистой воде содержание водородных и гидроксиль-

ных ионов равно между собой — 10^{-7} , следовательно, для нейтральных вод $pH=7$, при $pH>7$ вода имеет щелочную реакцию, а при $pH<7$ — кислую.

Для питьевых вод рН должна быть в пределах 6,5-8.

Величина pH влияет на все химические процессы, происходящие в воде. При низких значениях (менее 6-6,5) вода агрессивна по отношению к бетону, сооружениям и коммуникациям. При высоких рН – выделение $CaCO_3$ и образование отложений.

Окислительно-восстановительный потенциал (Eh). Также как величина рН влияет на все химические реакции, происходящие в воде. Характеризует соотношение окисленных и восстановленных форм всех содержащихся в растворе элементов переменной валентности. Если Eh положительный, то в растворе преобладают процессы окисления, если отрицательный – то процессы восстановления.

Значения Eh подземных вод изменяются в диапазоне: от $-0,5$ до $+0,7$ В.

Величины Eh обычно уменьшаются с глубиной. Поверхностные и грунтовые воды характеризуются положительными величинами $Eh =$ от $+0,15$ до $+0,7$ В.

Подземные воды глубоких частей артезианских бассейнов часто имеют $Eh =$ от 0 до $-0,5$ В. Низкие значения наблюдаются в сильнощелочных рассолах в гипсах. Максимальные значения ОВП обнаружены при активной деятельности железобактерий: Eh достигает $0,86$ В.

1.3. Микроэлементы

Содержание тех или иных микроэлементов в земной коре определяется сложными геохимическими процессами. Железо и марганец растворяются подземными водами в местах, куда не проникает кислород, например, под плотными водонепроницаемыми породами.

Железо (Fe^0). Как и многие другие элементы являются важными химическими веществами для функционирования организма человека. Тем не менее, избыточное содержание данного элемента в воде влияет на состояние живого организма (т.ч. человека) с возникновением ряда его болезней. Кроме этого, ухудшается цветность, мутность и вкусовые качества воды и приготовленной пищи. Эти элементы могут отлагаться на стенках сооружений и трубопроводов, окрашивать сантехнику, разрушать органические высокомолекулярные смолы при ионообменной обработке воды и т.д.

Обычно содержание железа в поверхностных водах (если не комплексные соединения) составляет десятые доли миллиграмма в 1 дм^3 , вблизи болот – еди-

ницы и десятки миллиграммов в 1 дм³, в подземных водах обычно до десятка (может быть и больше) мг/дм³. Норма в воде питьевого качества 0,3 мг/л.

Для железа характерны двухвалентные и трехвалентные соединения. Железо со степенью валентности (+3) является более сильным окислителем.

Концентрация железа подвержена заметным сезонным колебаниям. Обычно в водоемах с высокой биологической продуктивностью в период летней и зимней стагнации заметно увеличение концентрации железа в придонных слоях воды. Осенне-весеннее перемешивание водных масс (гомותרмия) сопровождается окислением Fe(II) в Fe(III) и выпадением последнего в виде Fe(OH)₃.

Повышенное содержание растворенного в воде железа (двухвалентного) характерно, прежде всего, для подземных водоносных горизонтов. Объясняется это низкой концентрацией кислорода в жидкости и отсутствием контакта с атмосферой. Закиси крайне неустойчивы и при контакте с воздухом до окисляются, переходя в другие нерастворимые формы, это их свойство используется в методах очистки воды.

В подземных источниках водоснабжения железо присутствует в растворимой и нерастворимой формах, преимущественно в виде бикарбоната закиси - Fe(HCO₃)₂, другое название двууглекислое железо.

Двухвалентное железо может переходить в трехвалентное, окисляясь при контакте с кислородом. Обратный процесс в **нормальных условиях** невозможен.

Трехвалентное железо и его окислы могут находиться в виде раствора, взвеси или коллоидных частиц.

Вследствие содержания простых миграционных форм железа, эти воды быстро очищаются от Fe при аэрировании, т.е. при добавлении кислорода. Это используется в методах обезжелезивания воды.

Концентрация железа в воде подвержена **заметным сезонным колебаниям**. Обычно в водоемах с высокой биологической продуктивностью в период летней и зимней стагнации заметно увеличение концентрации железа в придонных слоях воды. Осенне-весеннее перемешивание водных масс (гомותרмия) сопровождается окислением Fe(II) в Fe(III) и выпадением последнего в виде Fe(OH)₃.

Железо, будучи переходным элементом, является типичным комплексообразователем, и может образовывать устойчивые КС, находясь в валентном состоянии Fe (II) и Fe (III). Комплексообразование стабилизирует соединения малоустойчивой для железа степени окисления (+2).

Марганец — один из самых распространенных в природе элементов. По этому показателю среди других представителей таблицы Менделеева он занимает четырнадцатое место.

Он нечасто встречается в чистом виде, зато входит в состав большого числа минералов. Некоторые кислые и железистые руды также содержат марганец.

Марганец в воде относится к металлам, которые имеют пять аллотропных модификаций.

Он представлен в виде твердого, но хрупкого металла серебристо-белого цвета с плотностью $7,2 \text{ г/см}^3$. На воздухе покрывается оксидной пленкой с пестрыми пятнами.

В природе химический элемент марганец мало распространён, в земной коре его содержится всего $0,1\%$, в вулканической лаве $0,06\text{--}0,2\%$, металл на поверхности в рассеянном состоянии, имеет форму Mn^{2+} .

Его можно найти в растениях, воде, земле, а также в организме животных и человека.

Марганец также является важным элементом для организма человека. В организме человека марганца совсем немного, микроскопическое количество, но значение его сложно переоценить. К примеру, без марганца мы бы не могли усваивать витамин В1, который отвечает за работу нервной и пищеварительной систем организма. Даже нормальная работа сердца зависит от В1, а значит, и от марганца. При недостаточном его количестве увеличивается риск развития диабета. Также этот микроэлемент помогает нормальному развитию костной системы. Суточная потребность взрослого человека в марганце – $3\text{--}5 \text{ мг}$.

Норма в питьевой воде – $0,1 \text{ мг/дм}^3$ (ВОЗ, ЕС – $0,05$).

Количество марганца в воде – величина непостоянная, она изменяется в зависимости от сезона. Зимой и летом содержание тяжелых металлов в водоемах больше. А вот весной и осенью дело обстоит с точностью до наоборот.

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

Для удаления солей марганца двухвалентного состояния (Mn^{2+}) из воды их необходимо перевести в нерастворимое состояние окислением в трех- и четырехвалентную форму (Mn^{3+} и Mn^{4+}).

Как было сказано выше, марганец в подземных водах, хотя концентрация его и меньше, но в основном, присутствует вместе с железом. Не случайно марганец называют вечным спутником железа. Если в воде, которой вы пользуетесь, есть железо – там в большинстве случаев присутствует и марганец. Но не наоборот. Даже когда в воде нет железа, там вполне может присутствовать марганец.

Влияние pH и Eh , на процессы окисления железа и марганца, растворенных в воде, показано на диаграмме, приведенной на рис. 2, и называется диаграммой Пурбэ (такие диаграммы есть для каждого микроэлемента).

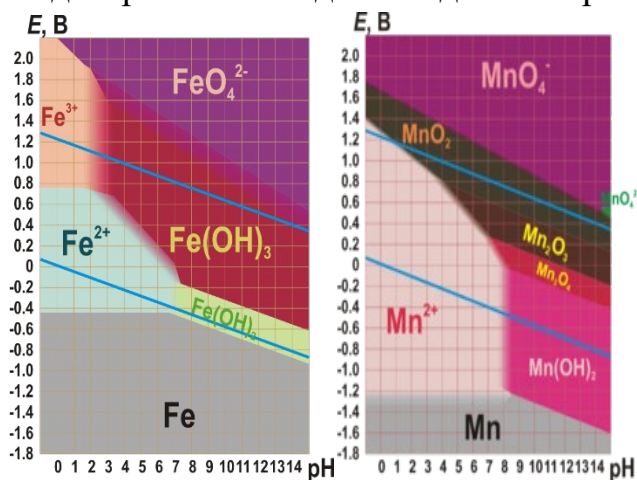


Рисунок 1.1 - Влияние pH и Eh , на процессы окисления железа и марганца

Линии на рисунках показывают значения pH и Eh , характеризующие состояние, при котором содержание различных форм под линией и над ней одинаково. На рисунке 1.1 линиями разграничены три зоны. В верхней зоне идут процессы окисления железа и марганца, в нижней - железо и марганец не окисляются.

Повышение pH и наличие кислорода приводят к процессам окисления железа и марганца и их гидролизу с образованием для гидрата закиси, а затем и оксиды.

Приведенные линии не являются абсолютными, их положение зависит от концентрации других веществ в воде.

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

1.4. Минерализация подземных вод

Все подземные воды всегда содержат в растворенном состоянии большее или меньшее количество солей, газов, а также органических соединений. Суммарное содержание растворенных в воде минеральных веществ называют **общей минерализацией**, о величине которой судят по сухому или плотному остатку (в мг/л или г/л),

Для подземных вод это определяется количеством и соотношением содержащихся в них в растворенном виде солей, присутствующих в воде **в виде ионов — катионов и анионов**.

Наибольшее практическое значение имеют следующие:

— катионы, Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} ;

— анионы — OH^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_2^- , NO_3^-

В молекулярном и коллоидном состоянии почти во всех водах содержатся органические вещества и коллоиды.

В состав природных вод входят почти все известные радиоактивные элементы, но практическое значение приобрели воды, содержащие уран, радий и радон. Радиоактивные подземные воды широко используются в бальнеологии.

По преобладающему аниону воды делятся на следующие основные классы: гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные и сложного состава. Каждый класс подразделяется по преобладающему катиону на подклассы: натриевые, кальциевые, магниевые или смешанные (натриево-кальциевые и т. п.).

Основной проблемой качества используемых подземных вод являются железистые соединения, концентрации которых превышают установленные значения в национальном стандарте СанПин 10-124 РБ 99 /41/, причем их обработка часто осложняется дополнительным присутствием соединений марганца и аммония, нитритов и нитратов, хлоридов и сульфатов, а также солей жесткости.

Жесткость воды. Особое качество подземной воды, обусловленное присутствием ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} . Жесткость подземных вод имеет большое значение при их оценке для практического использования. Жесткая вода плохо взмывается, что вызывает перерасход моющих веществ, дает накипь в используемой посуде при нагреве (например, кипячении) и в паровых котлах (что уменьшает их теплопроводность, приводит к перерасходу топлива и может вызвать аварию).

В жесткой воде медленнее развариваются овощи, мясо, крупа и другие продукты.

Различают общую жесткость, обусловленную содержанием в воде всех солей кальция и магния: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 , MgSO_4 , CaCl_2 , MgCl_2 ; карбонатную, или временную, обусловленную наличием в воде бикарбонатов (солей HCO_3^-) кальция и магния, удаляемых при кипячении вследствие их разрушения и перехода в слаборастворимые карбонаты, выпадающие в осадок; некарбонатную, или постоянную, остающуюся в воде после удаления бикарбонатов, равную общей минус карбонатная.

В настоящее время в РБ жесткость воды выражают в миллиграмм-эквивалентах Ca^{2+} и Mg^{2+} на 1 дм^3 воды; Жесткость природных подземных вод колеблется от нескольких миллиграмм-эквивалентов до десятков.

В одном и том же водоисточнике жесткость неодинаковая в разные времена года, но не должна превышать 7 мг-экв/дм³.

Хлориды и сульфаты. В ионном составе воды эти анионы (Cl⁻ и SO₄²⁻) представляют большинство и играют большую роль, которые благодаря своей высокой растворимости присутствуют во всех природных водах обычно в виде натриевых, кальциевых и магниевых солей. При значительном содержании в воде хлориды (>350 мг/дм³) и сульфаты (>500 мг/дм³) являются причиной ее агрессивности по отношению к бетону.

Наличие в воде значительных концентраций хлоридов и сульфатов свидетельствует о повышенном растворенном остатке воды, прежде всего, продуктов некарбонатной жесткости воды.

Воды, содержащие свыше 250 мг/дм³ сульфат-ионов, уже оказывают разрушающее действие на бетонные конструкции вследствие образования гипса (результат реакции между сульфатами и известью цемента), что вызывает увеличение объема и образование трещин в бетоне.

К классу сульфатов относят встречающиеся в природе соли серной кислоты H₂SO₄. Они насчитывают около 200 минералов. По особенностям состава сульфаты можно разделить на безводные и водные. Ведущими катионами сульфатов являются Ca²⁺, Ba²⁺, Sr²⁺, Na⁺. Типичные халькофильные элементы Cu, Zn, а также переходные элементы Mn, Fe встречаются в единичных редких минералах. У большинства сульфатов изоморфные замещения ограничены. Совершенный изоморфизм отмечен только между баритом Ba[SO₄] и целестином Sr[SO₄]. Структура сульфатов характеризуется присутствием тетраэдрических [SO₄]²⁻ групп. Тетраэдры [SO₄]²⁻ не способны к конденсации поэтому все сульфаты являются минералами с островной структурой. Для сульфатов характерен существенно ионный тип связи между катионами и радикалом.

Для многих сульфатов известны хорошо ограненные кристаллы и их друзы, плотные массы разной зернистости, землистые агрегаты, корки, выцветы на почве.

Большинство сульфатов бесцветны, прозрачны, белого цвета. Многие (барит, целестин, ангидрит) имеют голубую окраску, связанную с радиационными дефектами структуры, возникающими после ионизирующего облучения. Некоторые сульфаты окрашены механическими примесями, в том числе битумами. Это мягкие минералы, их твердость, как правило, не выше 3,5, причем, для водных сульфатов она ниже - около 2. Многие сульфаты легко растворяются в воде.

Основная масса сульфатов имеет осадочное происхождение - это химические морские и озерные осадки, многие являются минералами зоны окисления, известны сульфаты, образовавшиеся в результате вулканической деятельности.

Сульфаты образуются также в гидротермальном процессе минералообразования, являясь часто главными жильными минералами (барит, реже целестин, ангидрит). С дегидратацией гипсовых пластов связано образование ангидрита в метаморфических породах. Формы сульфатов представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Водные формы сульфатов

Островные безводные сульфаты		Островные водные сульфаты	
<u>ангидрит</u>	Ca[SO ₄] ромб.	<u>гипс</u>	Ca[SO ₄]*2H ₂ O
<u>тенардит</u>	Na ₂ [SO ₄] ромб.	<u>мон.</u>	(селенит, алебастр, мираби)

Хотя сульфаты в небольших количествах не должны существенно влиять на потребителя или пьющего, те, кто не привык к этому соединению, могут страдать от обезвоживания и диареи. Дети с ранее существовавшими кишечными проблемами часто более чувствительны к сульфатам, что повышает важность мониторинга их уровня. Например, детское питание не следует готовить с использованием воды с уровнем сульфатов 400 мг/л и более.

Как и дети, животные также очень чувствительны к сульфатам в питьевой воде. Для молодых животных особенно высокие уровни сульфатов могут стать причиной тяжелых, потенциально даже смертельных заболеваний, диареи и болезней. Хотя большие количества сульфатов в воде маловероятны они могут быть смертельными для человека. Воздействие высоких уровней может быть неприятным и вредным для вашего кишечника. Поэтому важно знать уровень сульфатов в вашей воде и понимать, как их удалить.

Сульфаты в количестве свыше 500 мг/дм³ придают воде горький вкус, ухудшают органолептические свойства воды (появляется солоноватый привкус) и оказывают физиологическое воздействие на организм. Эти вещества обладают слабительным эффектом, что приводит к расстройству желудочно-кишечного тракта. Кроме того, в значительной концентрации сульфаты могут вызывать раздражение слизистой оболочки глаз и кожи, причинять вред волосам.

В свою очередь присутствие в воде значительных количеств хлор-ионов приводит к выщелачиванию и разрушению бетонного камня вследствие образования с известью растворимых хлористого магния и кальция.

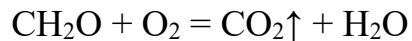
Повышенная концентрация хлоридов даёт воде солёный вкус и делает её непригодной для питья, хозяйственных нужд и использования в технических целях. Перенасыщенная хлоридами вода способна вызвать поражение слизистых оболочек, глаз, кожи и дыхательных путей. После употребления такой воды нарушается водно-солевой баланс и работа пищеварительного тракта, появляются отёки и склонность к заболеваниям мочеполовой системы.

1.5. Органические вещества в подземной воде.

Присутствие в подземной воде органических соединений определяет разнообразие ее состава.

В анаэробных условиях происходит микробиологическое разложение животных и растительных остатков (обычно выражается общей формулой CH_2O), причем часть из них растворяется в воде.

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



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

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

Главным источником поступления гумусовых кислот в природные воды являются почвы и торфяники, из которых они вымываются дождевыми и болотными водами. Значительная часть гумусовых кислот вносится в водоемы вместе с пылью и образуется непосредственно в водоеме в процессе трансформации "живого органического вещества".

Рассмотрим некоторые органические вещества, присутствующие в подземных водах.

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

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.

Ион аммония $N-NO_2$. С хозяйственно-бытовыми сточными водами в канализационные системы ежедневно поступает до 10 г аммонийного азота (в расчете на одного жителя).

Повышение концентрации ионов аммония и нитритов обычно указывает на свежее загрязнение, в то время как увеличение содержания нитратов - на загрязнение в предшествующее время.

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.

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.

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

Предельно допустимая концентрация нитратов в воде водоемов (ПДК_в) установлена в размере 10 мг/л по азоту или 45 мг/л в виде иона NO_3^- (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 NO_3^- (тождественно равен стандарту США для питьевой воды).

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

Все формы азота, включая и газообразную, способны к взаимным превращениям.

Перманганатная окисляемость. Состав органических веществ в природных водах (поверхностных и подземных) формируется под влиянием многих факторов.

Величина, характеризующая содержание в воде органических и минеральных веществ, при воздействии в определенных условиях одним из сильных химических окислителей, называется окисляемостью. Выражается в миллиграмм-

мах кислорода, эквивалентного количеству реагента, пошедшего на окисление органических веществ, содержащихся в 1 л воды.

Эта величина характеризует количество кислорода в мг/дм³ (мг/л), эквивалентное расходу окислителя, необходимого для окисления примесей в данном объеме. Обуславливается присутствием органических и некоторых легкоокисляющихся неорганических примесей, таких, как железо (II), сульфиты, сероводород и др.

Окисляемость природных вод может меняться в зависимости от времени года. Поверхностные воды имеют более высокую окисляемость по сравнению с подземными. Причем она подвержена закономерным сезонным колебаниям. Их характер определяется, с одной стороны, гидрологическим режимом и зависящим от него поступлением органических веществ с водосбора, с другой - гидробиологическим режимом.

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

Для природных малозагрязненных вод рекомендовано определять перманганатную окисляемость (П), в более загрязненных водах определяют, как правило, бихроматную окисляемость (ХПК).

В подземной воде перманганатная окисляемость (П) может колебаться от 2-15 мгО₂/дм³ и свыше 3-5 указывает на ее загрязнение посторонними примесями, в основном органического и антропогенного характера.

В грунтовых водах окисляемость зависит от глубины их залегания.

Повышенное значение отношения цветности к окисляемости указывает на преобладание в воде устойчивых гумусовых веществ болотного происхождения, а пониженное – гумусовых веществ планктонного происхождения. Промежуточное значение этого отношения указывает на преобладание почвенного гумуса. Характерно, что окисляемость воды после коагулирования, отстаивания и фильтрования снижается меньше, чем цветность.

Следует отметить также, что именно перманганатная окисляемость является единственным показателем из всех ее видов, регламентирующим качество питьевой воды, согласно СанПиН 10.124-99 РБ норматив составляет 5,0 мгО₂/дм³.

1.6. Анализ состава подземных вод в Витебской области

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

Водоснабжение питьевой воды обычно основано на вскрытии соответствующих водоносных горизонтов путем устройства неглубоких (40-120 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 рН 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, Поставском и Докшицком районах Витебской области встречаются подземные воды со значительными концентрациями сульфатов, нитратов, жесткости и общей минерализацией 1-3,5 г/л.

Общая минерализация является индикатором роста в воде макрокомпонентов иногда 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 (не-

удовлетворительное 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 таблице 1.2 представлены наиболее типичные загрязняющие вещества в подземных водах в Витебской области.

Таблица 1.2 – Химический состав артезианских подземных вод в Витебской области

Наименование показателей	Значение показателей
Величина рН (ПДК в пределах 6-9)	7,2-7,7
Величина Eh, мВ	(-)50-(+)110
Минерализация, общая (ПДК=1000мг/дм ³)	250-3500
Жесткость общая, (ПДК=7 мг-экв/дм ³)	3,5-48
Окисляемость перманганатная (ПДК=5,0 мгО ₂ /дм ³)	3,0-10,0
Хлориды Cl ⁻ (ПДК=350 мг/дм ³)	1-100
Сульфаты SO ₄ ²⁻ (ПДК=500 мг/дм ³)	35-2500
Na ⁺ (ПДК=200 мг/дм ³)	60-150
K ⁺ , мг/дм ³	2-4
Ca ²⁺ , мг/дм ³	40-400
Mg ²⁺ , мг/дм ³	10-250
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 ₂ S (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.

Глава 2. Основные методы обработки подземной воды.

Прежде всего, рассмотрим аэрационные методы обработки подземной воды, которые во многих случаях обеспечивают ее очистку от железа, марганца и аммония. При необходимости снижения жесткости, нитратов и сульфатов, перечисленные методы применяются как предварительная очистка.

2.1 Особенности обработки воды методом упрощенной аэрации.

Метод упрощенной аэрации применяют согласно п. 9.12.1.2 /42/.

Для реализации метода упрощенной аэрации на станциях водоподготовки напорного типа используются эжектора.

Вариант упрощенной аэрации используется для большинства станций водоподготовки населенных мест при местном превышении железа до 10 мг/л.

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

Опыт использования 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.

2.2.Метод интенсивной аэрации.

При интенсивной аэрации, 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. 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.

Для удаления аммиачного азота или аммонийных солей нередко применяют дополнительные методы обработки воды. Например, используется промежуточная регулирующая емкость с устройством вентиляции (примерно \approx 50-

60% от часового расхода воды, но не менее 3 м³) в которую подается сжатый воздух для отдувки аммиака. Может устанавливаться дополнительный аэратор со второй ступенью фильтров и с загрузкой из ионообменных материалов или сорбентов (клинотилолиты - цеолиты).

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

В качестве реагентных окислителей используются озон, марганцовку, но часто хлорсодержащие реагенты, например, гипохлорит натрия NaOCl.

Предварительное хлорирование NaOCl осуществляют дозой по активному хлору 3 и более мг/л, обязательно надо устанавливать на конце фильтр с активированным углем для дехлорирования.

Данные аэрационные методы применяются часто на станциях обезжелезивания воды как безнапорного, так и напорного вариантов.

2.3. Биологический метод

В 90-х годах прошлого века в Республике Беларусь стали применять биохимические технологии очистки подземных с использованием микроорганизмов биологически активной загрузки (БАЗ), состоящей, прежде всего, из различных видов железобактерий и марганцовоокислых бактерий /31/.

Метод получил развитие как в реконструкции существующих станций напорного и безнапорного типа, так и в строительстве новых и является одним из современных направлений, повышающих эффективность удаления железа в присутствии марганца и растворенных газов в скорых фильтрах. Данный метод является практически универсальным, т.ч. и для обработки воды сложного состава.

У типичных представителей железобактерий и марганцовоокислых бактерий родов *Leptothrix*, *Metallogenium*, *Siderocapsa* и др., развивающихся в пресных водах с нейтральной или слабощелочной средой, окисление железа и марганца происходит в результате взаимодействия выделяющейся перекиси водорода с ионами металлов (перекисный механизм). Активная реакция воды pH и окислительно-восстановительный потенциал Eh могут оказывать существенное влияние на развитие железобактерий, поэтому при использовании биотехнологий необходимо контролировать стабильность воды, что обычно не предусмотрено на станциях обезжелезивания воды.

В сущности, биотехнология обработки воды представляет собой два противоположных процесса: биологическое окисление и механическое фильтрование. Если процессы происходят в одном сооружении (например, скором фильтре), то ясно, что это не может быть решено оптимальным образом без ущерба одному из них.

Поэтому в последнее время при проектировании и строительстве новых станций (установок) обезжелезивания воды рекомендуются двухступенчатые схемы удаления этих соединений в безнапорном варианте, т.е. разделить процессы биоокисления и фильтрования /31/.

Было принято решение первую стадию проводить в аэрационной колонне - биореакторе, часть которой заполнена элементами со значительной активной поверхностью для роста биомассы, а уже затем направлять воду на фильтрование. 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.), а также соединений азотной группы.

К недостаткам этого метода можно отнести высокую стоимость и сложность в эксплуатации.

В тех случаях, когда надо производить умягчение воды, удаление сульфатов, солей кремниевой кислоты, нитритов, нитратов или специфических микроэлементов (Барий, литий, бор и др.) в настоящее время применяются станции (установки) ионного обмена и обратного осмоса. Тогда аэрационные устройства часто используют как предварительную очистку, прежде всего от железа, марганца и аммония.

2.4. Ионный обмен.

Этот вариант используется при высоких концентрациях солей жесткости, общего солесодержания (т.ч. хлоридов и сульфатов), растворимых азотных соединений.

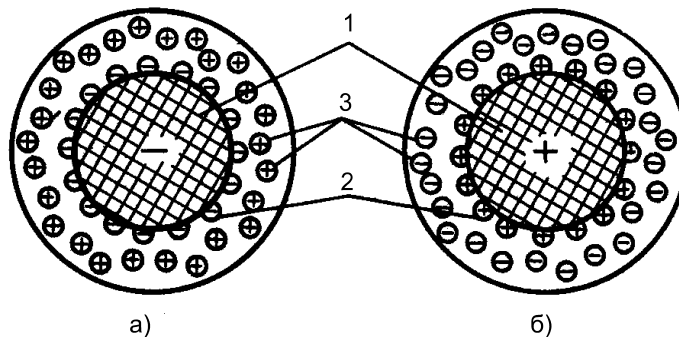
Осветленная на предочистке подземная вода практически не содержит грубо- и коллоиднодисперсных примесей, но основная часть истиннорастворенных примесей в ней остается.

Сущность ионного обмена заключается в использовании способности некоторых, практически нерастворимых в воде, специальных материалов (ионитов) изменять в желаемом направлении ионный состав воды. Способность ионитов к такому обмену объясняется их строением (рисунок 2.1).

Любой ионит состоит из твердой основы (матрицы), на которую нанесены специальные функциональные группы, способные при помещении ионита в раствор к образованию на поверхности матрицы потенциалообразующих ионов, т.е. к возникновению заряда. Вследствие этого вокруг матрицы создается диффузионный слой из противоположно заряженных ионов (противоионов). Ионы диффузионного слоя обладают повышенным запасом кинетической энергии и могут выходить из него в раствор, но при этом из раствора в диффузионный слой должны переходить ионы того же знака.

Следовательно, реакции ионного обмена подчиняются правилам, характерным для реакций электролитов — эквивалентности обмена ионов и обратимости этого процесса. То есть, ионный обмен представляет собой процесс стехиометрический, и на каждый эквивалент одного иона, поглощаемого из раствора, ионит отдает в раствор один эквивалент другого иона того же знака.

Обратимость процесса обмена ионов позволяет экономично использовать ионообменный материал. При истощении ионита можно, повысив в растворе концентрацию первоначальных обменных ионов, сдвинуть реакцию ионного обмена в направлении восстановления исходного состояния ионита, т.е. произвести его регенерацию.

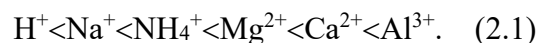


1. Матрица
2. Потенциалообразующие ионы
3. Ионы диффузионного слоя

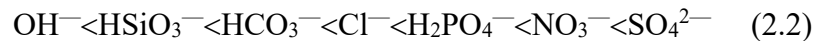
Рисунок 2.1 - Схема структуры зерна ионита

Очень важную роль в технологии ионного обмена играет также селективность, т.е. способность ионита к преимущественной сорбции одних видов ионов по сравнению с другими.

Для сильнокислотных катионитов ряд селективности выглядит следующим образом:



Для высокоосновных анионитов:



При поступлении на верхний слой ионита вода содержит наибольшую концентрацию ионов-примесей, а ионит — наименьшую и активная сорбция ионов будет происходить именно в верхнем слое ионита (см. рис. 3.2 б). Концентрация ионов-примесей в воде, поступающей на верхние слои ионита не изменяется, а в ионите, вследствие ионного обмена, их количество будет увеличиваться, и истощенный ионит не будет участвовать в ионном обмене. Таким образом, при осуществлении ионного обмена, путем фильтрования воды через слой, в нем через некоторое время можно выделить три участка: отработавший, рабочий и свежий. В определенный момент зона отработавшего ионита достигает нижней границы слоя и происходит проскок ионов-примесей в фильтрат. Это служит сигналом для отключения фильтра на регенерацию.

В технологии водоподготовки для удаления из воды растворенных примесей применяют следующие процессы:

- катионирование — удаление из воды катионов. В зависимости от обменного иона процессы получили название: водород-катионирования (обменный катион H^+); натрий-катионирования (обменный катион Na^+); аммоний-катионирование (обменный катион NH_4^+). Принятые обозначения: HR , NaR , NH_4R , где R — комплекс матрицы и функциональной группы;
- анионирование — удаление из воды анионов. Обменными анионами при анионировании являются анионы OH^- и Cl^- . Обозначения процессов ROH , RCl , R_2SO_4 .

Процессы катионирования имеют самостоятельное применение в схемах умягчения воды. Анионирование применяется лишь в комплексе с катионированием для обессоливания воды, т.ч. удаления хлоридов, сульфатов, нитритов и нитратов. Процессы ионного обмена обычно протекают в специальных аппаратах — насыпных ионитных фильтрах.

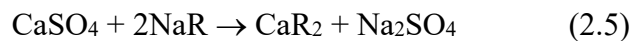
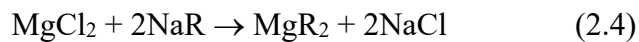
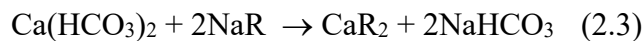
В качестве ионитов применяются высокомолекулярные органические смолы в виде зернистого фильтрующего материала. Катиониты: КУ-2-8, пиролайт, дуовит и др. Аниониты: АБ-17, АН-31, эмберлайт и др.

Обменная емкость ионитов является их важнейшей технологической характеристикой. Способность к ионному обмену определена, как известно, наличием в ионитах функциональных групп, которые у катионитов носят кислотный характер $-\text{SO}_3\text{H}$ (сульфогруппа), $-\text{COOH}$ (карбоксильная группа), у **анионитов** - основной.

Монофункциональные катионы, содержащие сульфогруппы, являются сильнокислотными (сильно диссоциирующими), а содержащие карбоксильные группы - слабокислотными (слабо диссоциирующими). Сильнокислотные катиониты (например, КУ-2-8) осуществляют обмен ионов практически при любых значениях рН среды, так как их функциональные группы диссоциируют, как и сильные кислоты, при любых значениях рН. Слабокислотные функциональные группы в кислой среде практически остаются в недиссоциированном состоянии, что резко уменьшает способность карбоксильных катионитов (типа КБ) к ионному обмену в таких условиях, поэтому их рекомендуется применять при обработке растворов с рН - 7.

Для снижения жесткости особенно часто применяется натрий-катионирование, когда фильтрование воды ведется через слой катионита, содержащего в качестве обменных ионов катионы Na^+ . При этом катионит поглощает из воды катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , обуславливающие жесткость, а в воду из катионита переходит эквивалентное количество ионов Na^+ , т.е. происходит умягчение воды.

Протекающие при этом реакции ионного обмена записываются следующим образом:



Из приведенных реакций видно, что анионный состав обрабатываемой воды при Na-катионировании остается постоянным, поэтому и суммарная концентрация катионов, участвующих в ионном обмене, постоянна. Однако массовая концентрация катионов несколько возрастает, т.к. эквивалентная масса иона Na^+ выше эквивалентных масс ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} . Вследствие этого солесодержание фильтрата будет несколько выше солесодержания воды, поступающей на фильтр.

Механизм выделения анионов из обрабатываемой воды аналогичен задержанию катионов жесткости.

Сущность ионообменного обессоливания заключается в последовательном прохождении воды через катионо - и анионообменные фильтры.

При анионировании происходят следующие реакции:



Часто для специальной обработки подземной воды, особенно малых населенных пунктов применяются напорные установки натрий-хлор-ионирования **воды**. При этом, содержание натрия в очищенной воде не должно превышать 200 мг/дм³.

Этот метод достаточно эффективен, когда нужно уменьшить общую жесткость, нитриты и нитраты, общую щелочность и минерализацию исходной воды, увеличить критерий потенциальной щелочной агрессивности (уменьшить относительную щелочность). Производится путем фильтрования последовательно через слои сначала – хлор-анионита и затем – натрий-катионита в одном фильтре, где первым по ходу воды загружен слой сильноосновного анионита, а второй слой – натрий-катионит.

При регенерации катионита применяется раствор хлорида натрия, и, в отличие от натрий-катионирования, здесь используются ионы как Na⁺, так Cl⁻.

Натрий-хлор-ионированием можно достигнуть умягчения воды до такой же степени, как при двухступенчатом натрий-катионировании, то есть жесткости воды до 0,01 ммоль/л, щелочности – до 0,2–0,3 ммоль/л. Обычно достаточно уменьшения щелочности до 1,0–1,5 ммоль/л.

Для сильноосновного анионита принимается рабочая обменная емкость по иону HCO₃⁻ – 280–300 моль/м³, общая рабочая обменная емкость по ионам HCO₃⁻, SO₄⁻, NO₃⁻, NO₂⁻ (Cl⁻ не включается в расчет) – 1200–1400 моль/м³. Расход хлорида натрия на регенерацию анионита – 65–75 кг/м³ анионита. Этого достаточно для регенерации и натрий-катионита в смешанном фильтре.

При этом методе обработка подземной воды после предварительной ее очистки, осуществляется в ионитных фильтрах, где первый по ходу фильтрования загружен слоем натрий-катионит.

Второй - сильноосновным анионитом, с нижним слоем натрий-катионита (нижний слой служит для доочистки воды, прежде всего от полного удаления катионов кальция и магния)

Для обработки подземных вод и получения ее качества в соответствие с СанПиН, часто этот метод проводят в одном фильтре, после фильтров предварительной очистки, и подсоединяют параллельно к трубопроводу фильтрата (подмес). Вода в ионитном фильтре проходит через слои его загрузки в следующей последовательности: сначала – хлор-анионит и затем – натрий-катионит. Данным методом перед регулирующими емкостями можно достигнуть нормативной степени умягчения подземной воды, т.е. жесткости в пределах до 7 мг-экв/дм³ – общей минерализации менее 1000, т.ч. сульфатов <500 и хлоридов <350 мг/дм³.

Реакции по удалению катионов Ca²⁺ и Mg²⁺ указаны выше, а по снижению минерализации, частности сульфатов:



При регенерации катионита и анионита применяется 6-10% раствор хлорида натрия.

2.5 Обратный осмос.

Обратный осмос относится к наиболее перспективным методам, и широко применяемым при подготовке подземной воды от растворенных веществ (снижение жесткости, сульфаты, нитраты, также бор, барий, литий и т.д.). Учитывая, что фильтрат практически представляет собой дистиллированную воду, установки обратного осмоса устраивают в подмес к трубопроводу после предварительной очистки от взвеси, железа, марганца и аммония.

Обратным осмосом принято называть процесс мембранного разделения, состоящий в преимущественном проникновении через полупроницаемую мембрану растворителя под действием давления, превышающего осмотическое давление раствора.

Для понимания процесса обратного осмоса традиционно рассматривают схему, приведенную на рисунке 2.2.

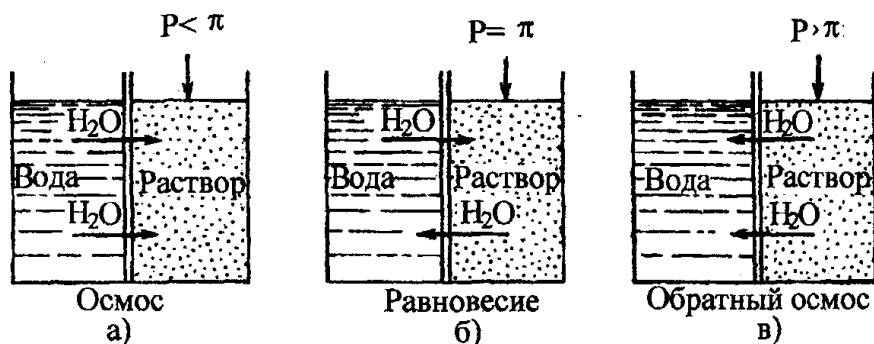


Рисунок 2.2 - К объяснению механизма обессоливания воды обратным осмосом:

а – прямой осмос; б - равновесие; в - обратный осмос.

Если в емкость, разделенную полупроницаемой перегородкой налить раствор (соленую воду) и растворитель (пресную воду), то со временем начнется самопроизвольный переход растворителя в раствор (положение, а). Это явление называется осмосом. Через некоторое время наступит равновесие (б), при этом появится определенное избыточное давление π , называемое осмотическим. Если со стороны раствора приложить давление, превышающее осмотическое, то начнет происходить перенос растворителя (воды) в обрат-

ном направлении и будет наблюдаться явление, названное обратным осмосом (в). При этом энергия в основном расходуется на создание давления исходной воды, которая является средой, практически несжимаемой.

Как и биологический, этот метод является универсальным для любого состава подземной воды.

По сравнению с традиционными способами обработки воды этот метод обладает рядом преимуществ:

Энергозатраты сравнительно не велики;

Установки просты и компактны;

Химикаты не применяются;

Не требуется высокой квалификации обслуживающего персонала;

Фильтрат может использоваться по оборотной схеме;

Ввиду уменьшения объема концентрата он может быть легко использован или уничтожен.

Технико-экономическая оценка методов обессоливания воды позволяет расположить их по привлекательности и дешевизне в следующей последовательности:

Обратный осмос;

Электродиализ;

Термическое обессоливание;

Ионитовое обессоливание;

Однако большее влияние на стоимость процесса обессоливания оказывает качество исходной воды и требуемая глубина обессоливания. Необходимо тщательно учитывать затраты на предварительную обработку воды, особенности эксплуатации установок и соответствующие эксплуатационные затраты.

Установка обратного осмоса способна удалять из воды частицы с размерами 0,001-0,0001 мкм. В этот диапазон попадают соли жёсткости, нитраты, ионы натрия, малые молекулы, хлориды и сульфаты, красители. Для более эффективной работы рекомендуется применение предварительных ступеней очистки (механическая очистка и микро-, ультра- или нанофильтрация), которые удаляют более крупные частицы загрязнений, в основном в нерастворимой форме.

Обессоливание воды обратным осмосом (гиперфильтрацией) относится к мембранным технологиям обработки воды. Оно основано на использовании полупроницаемых мембран, которые свободно пропускают воду и в то же время задерживают от 90 до 99% гидратированных ионов солей, а также другие органические и минеральные растворенные соединения, мельчайшие коллоидные примеси, бактерии и вирусы. Полупроницаемые мембраны имеют поры,

диаметр которых достаточен для пропускания молекул воды ($a \approx 2,76 \text{ \AA}$), но мал для прохождения ионов ($d \approx 4 \text{ \AA}$) и молекул растворенных веществ.

Для преодоления значительного гидравлического сопротивления мембран и осмотического давления раствора и растворителя нужно создать перед мембраной рабочее давление, значительно превышающее осмотическое в пределах от 4 до 10 МПа. При этом будет происходить переход растворенных веществ из концентрированного раствора в разбавленный. Это явление называется обратным осмосом.

В существующих обратноосмотических аппаратах исходная вода проходит мембрану и собирается в приемнике.

Производительность станций или установок зависит от осмотического давления и для подземной воды должно быть достаточно велико, порядка 1-2,5 МПа для прохождения ее через мембрану и задержания растворенных веществ на молекулярном и атомном уровне.

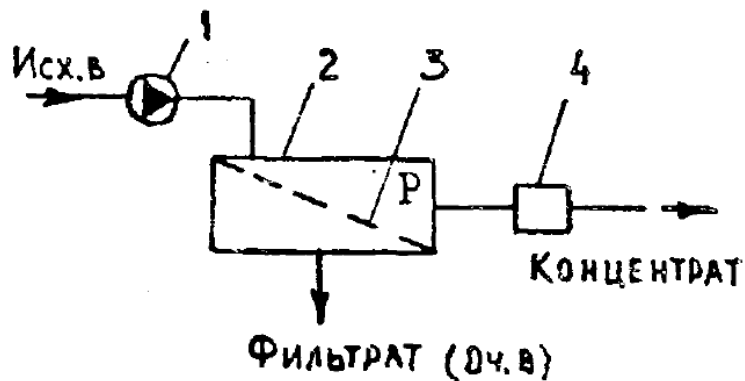


Рисунок 2.3 - Принципиальная схема очистки воды методом обратного осмоса

1 – насос; 2 – мембранный модуль; 3 – полупроницаемая (селективная) мембрана; 4 – редуцирующий клапан.

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.

Основной элемент установки обратного осмоса — полупроницаемая обратноосмотическая мембрана, помещённая в корпус. В неё поступает исходная вода, а отводится два потока — очищенная и обессоленная. Продавливание воды через мембрану ведётся при высоком давлении, которое создает насос, обычно центробежный многоступенчатый или роторный. Для замедления образования нежелательных отложений на мембранах применяется дозирование ингибитора осадкообразования (антискалянт).

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

Основными терминами, характеризующими процесс обратного осмоса являются: полупроницаемая мембрана, мембранный процесс, пермеат, концентрат, рабочая поверхность мембраны. Изложение терминов проводится в соответствии с решением IV Всесоюзной конференции по мембранным методам разделения смесей.

Полупроницаемая мембрана - перегородка, обладающая свойством преимущественно пропускать определенные компоненты жидких или газовых смесей.

Мембранный процесс - процесс преимущественного проникновения одного или нескольких компонентов смеси через полупроницаемую мембрану под действием разности химических потенциалов, в результате чего исходная смесь разделяется на пермеат и концентрат.

Пермеат - поток веществ, проходящий через полупроницаемую мембрану в процессе мембранного разделения. В водоподготовке часто этот термин заменяется на термин фильтрат.

Концентрат (ретант, нонпермеат) - поток веществ, не прошедший через полупроницаемую мембрану в процессе мембранного разделения.

Рабочая поверхность мембраны - площадь мембраны, участвующая в процессе мембранного разделения.

Основными технологическими параметрами, характеризующими процесс обратноосмотического опреснения и обессоливания, являются: удельная производительность, селективность, коэффициенты; очистки, разделение, концентрирование, уменьшение объема, извлечения, величина концентрационной поляризации.

Удельная производительность - количество вещества, переходящего через единицу площади мембраны в единицу времени, $\text{м}^3/\text{с}\cdot\text{м}^2$; $\text{кг}/\text{с}\cdot\text{м}^2$; $\text{моль}/\text{с}\cdot\text{м}^2$; $\text{л}/\text{ч}\cdot\text{м}^2$ и т.д. В водоподготовке преобладает термин «количество фильтрата» и обозначается буквой $Q_{\text{ф}}$.

Селективность мембраны – это способность мембраны разделять компоненты смеси.

Селективность также называют «задерживающей способностью» и «солезадержанием». Селективность обозначается буквой R и количественно измеряется как доля задержанного мембраной вещества. Величина R всегда абсолютно конкретна – для определенной мембраны и определенного растворенного вещества.

Если мембрана способна задерживать некое вещество на 99%, то говорят, что селективность данной мембраны по этому веществу – $R=99$, %.

Удельная производительность мембраны – это количество вещества, проходящего в единицу времени через единицу площади мембраны.

Для снятия осадков с поверхности мембран используется система химпромывки. Для контроля качества очистки и рН — проточные измерители соледержания и рН-метры. Для контроля расхода пермеата и концентрата — проточные расходомеры.

Различают 4 типа обратноосмотических аппаратов: фильтр-прессные, рулонные, трубчатые и полые волокна.

Наиболее часто используется мембранный фильтрующий элемент рулонного типа, который состоит из центральной трубки с радиальными отверстиями, вокруг которой спирально намотан один или несколько мембранных пакетов.

Мембранный пакет (рисунок 2.4) состоит из сложенной активной стороной внутрь полупроницаемой мембраны с вложенной в нее турбулизаторной сеткой и промежуточных дренажных листов. Герметизация мембранного пакета в элементе осуществляется путем полной заливки обоих торцов расплавом термопластичного материала или термореактивной клеевой композицией.

Ввод очищаемого раствора в элемент осуществляется через его наружную цилиндрическую поверхность, а вывод концентрата и фильтрата - через центральную трубку. Продольный канал центральной трубки разделен поперечной перегородкой на два изолированных неравных по длине участка. При этом длинный участок соединен с турбулизаторной сетками, а короткий - с дренажными листами. Отношение длины мембранного пакета к его ширине составляет от 2 до 5. Выполнение мембранного фильтрующего элемента в соответствии с предлагаемыми конструктивными решениями позволяет повысить его производительность и степень отбора фильтрата.

На принципе обратного осмоса основано получение пресной и обессоленной воды из минерализованных природных и сточных вод. Этот процесс осуществляется, как правило, в поперечном режиме, т.е. поток исходной соленой воды движется параллельно мембране, в то время как опресненный поток отводится перпендикулярно мембране как это показано на рисунке 2.5.



Рисунок 2.6 – Общий вид осмотического блока

В процессе обратного осмоса со временем происходит загрязнение мембран осадками взвешенных частиц и плохо растворимых соединений. Это приводит к снижению удельной производительности и селективности. Чтобы уменьшить скорость загрязнения, разделяемые растворы перед подачей в мембранный аппарат пропускают через ультрафильтрационные фильтры с разными размерами ячеек.

Однако все равно рано или поздно возникает необходимость очистки мембраны от загрязнений [43]. Если предобработка была высокоэффективной (по стоимости – сопоставимой с обратным осмосом), то очистку мембраны можно проводить раз в месяц и даже еще реже, в других случаях (когда кроме фильтров ничего не применяется) это может быть один раз в неделю. Необходимость очистки мембраны устанавливается экспериментально, предварительно можно судить по снижению производительности или возрастанию гидравлического сопротивления модулей. Например, рулонные модули рекомендуется очищать, когда их производительность снижается на 20%, или перепад давления в напорном канале модуля возрастает в 1,5 раза по сравнению с первоначальным значением.

Все методы очистки мембраны можно подразделить на 4 группы: механические, гидродинамические, химические и физические.

Механическая очистка заключается в механическом воздействии на поверхность мембраны мыльной шваброй, губкой и т.п. Способ этот весьма эф-

фективен, но применим обычно только в аппаратах с трубчатыми мембранами и в некоторых конструкциях аппаратов с плоскопараллельной укладкой мембран (типа «фильтр - пресс», где возможна простая и быстрая сборка и разборка аппарата). Аналогично очищают поверхность мембран и в лабораторных ячейках с мешалками.

Гидродинамические способы очистки включают в себя промывку напорного канала сильной струей воды, газожидкостной эмульсией, пульсирующим потоком, обратную промывку пермеатом. Сюда же относится способ, заключающийся в резком сбрасывании давления, применяемый в некоторых типах мембранных аппаратов. При этом мембрана расширяется и одновременно возникает осмотический поток со стороны пермеата, что приводит к отслаиванию загрязнений от мембраны. После этого они вымываются из аппарата сильным потоком воды в напорном канале, который сопровождает сброс давления.

По сравнению с химическими методами очистки гидродинамические проще и дешевле. К сожалению, с их помощью удастся удалить только такие осадки, которые непрочны связаны с мембраной.

И, наконец, перейдем к подробному рассмотрению химических методов очистки. Они сравнительно дороги, сопряжены с расходом химических реагентов и образованием сточных вод, могут приводить к сокращению срока службы мембран, особенно с невысокой химической стойкостью. Тем не менее, химические методы широко применяются, поскольку зачастую являются единственно эффективными. При химической очистке мембрана обрабатывается растворами веществ, которые или полностью растворяют отложения, или делают их рыхлыми, что позволяет удалять их гидродинамическими методами.

Промывка выполняется в следующей последовательности. После остановки аппарата сначала рекомендуется промыть его гидродинамически сильной струей исходной воды, сбрасывая выходящий поток через линию концентрата в канализацию. Затем следует перекрыть вентили на линиях исходной воды, концентрата и пермеата. Эти линии показаны на схеме пунктиром. Далее открываются все вентили на линии циркулирующего раствора, и включается насос низкого давления. С помощью вентиля перед фильтром и вентиля на байпасной линии устанавливается необходимый расход циркулирующего раствора. Как правило, этот расход в 2-4 раза меньше, чем расход разделяемого раствора при нормальной работе мембранного аппарата.

Промывной раствор проходит обратноосмотический аппарат и возвращается в емкость. Сюда же направляется и пермеат, который обычно образуется на стадии промывки из-за перепада давления через мембрану, вызванного гидравлическим сопротивлением.

Циркуляция проводится от 30 минут до 1 часа, затем аппарат оставляется под заливом промывочным раствором на несколько часов, чтобы воздействовать на некоторые очень медленно растворяющиеся отложения. Затем снова проводится циркуляция, после которой аппарат вновь оставляется под заливом. Иногда, в тяжелых случаях, подобные процедуры приходится повторять и в третий, и в четвертый раз, хотя бывает и так, что аппарат вообще не требуется оставлять под заливом.

Промывку заканчивают, когда концентрация промывочного раствора перестает изменяться. Одновременно должны стать постоянными показания дифманометра, фиксирующего гидравлическое сопротивление мембранного аппарата. После этого закрывают вентили на линии промывки и открывают вентили на линиях подачи исходной воды, концентрата и пермеата, включают основной насос (на схеме не показан) и промывают аппарат сильным потоком питающей воды при низком давлении, т.е. гидродинамически. При этом выходящие из линии концентрата и пермеата растворы сливают в канализацию или линию сточных вод предприятия. Затем с помощью вентиля на линии концентрата создают нормальное рабочее давление, и когда концентрации пермеата и концентрата становятся стабильными, переводят установку в нормальный режим эксплуатации, направляя пермеат и концентрат по назначению.

Если промывка была выполнена качественно, удельная производительность и селективность восстанавливаются практически до первоначальной величины.

Очевидно, что для выбора промывочного раствора необходимо знать химический состав осадков на мембране. Наиболее правильный подход – это непосредственный анализ осадков, снятых с мембраны. Если такой возможности нет, то о природе загрязнений судят косвенно по содержанию компонентов, способных загрязнять мембрану, в растворе, подаваемом в аппарат обратного осмоса.

В данном пособии мы ограничимся кратким рассмотрением основных осадков, возникающих на мембранах при обратноосмотической очистке и концентрировании природных вод, и наиболее типичными промывочными растворами для их растворения.

1. Карбонат кальция (CaCO_3). Он образует плотную, прочно скрепленную с мембраной пленку, которая может вообще изолировать разделяемый раствор от мембраны. Поэтому необходимо так организовать предподготовку разделяемого раствора, чтобы исключить образование осадка CaCO_3 . Тем не менее, если такой осадок все-таки образуется, для его растворения применяют следующие промывочные растворы:

- а) HCl при $\text{pH} = 4$;

где R – кислотный остаток этилендиаминтетрауксусной кислоты.

5. Смешанный осадок из CaSO_4 , CaCO_3 и $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Промывочный раствор включает в себя 0,4% трилона Б и 0,03% гидроксиламина солянокислого.

6. Неорганические коллоиды.

Промывочные растворы:

а) 2% лимонная кислота + NH_3 при $\text{pH}=4$;

б) NaOH при $\text{pH}=11$.

7. Осадки органических соединений.

Промывочные растворы:

а) 1% раствор гексаметафосфата натрия;

б) растворы детергентов (ПАВ).

В заключение данного раздела необходимо обратить внимание, что при проектировании установок обратного осмоса способы предочистки обрабатываемого раствора и методы очистки мембран от загрязнений должны выбираться в такой совокупности, чтобы обеспечить минимальную стоимость процесса разделения.

Если производится экономия на предочистке, то неизбежно получается увеличение затрат на эксплуатацию мембран.

2.6. Выводы.

1. Анализ состава подземной воды в Витебской области показывает, что основными загрязнениями в ней являются железо, марганец, азотистые соединения, соли жесткости и в некоторых случаях сульфаты.

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

3. Проблема улучшения качества водоснабжения в малых населенных пунктах Республики Беларусь с удалением загрязнений в подземных водах, неразрывно связана с проведением комплекса мероприятий по строительству и эксплуатации рассматриваемых объектов.

4. Технология обработки подземных вод должна определяться непосредственно у источника водоснабжения. При этом необходимо учитывать, что подаваемая к потребителю вода обязательно должна соответствовать нормативным показателям по СанПиН 10-124 РБ 99 с учетом экологического и социального воздействия используемой системы водоснабжения.

5. Для удаления из подземной воды солей жесткости и сульфатов до нормативных значений целесообразно использование метода обратного осмоса.

Глава 3. Характеристика объекта и методика проведения исследования.

3.1 Характеристика объекта исследования

Объектом исследования принят поселок городского типа Воропаево, Поставский район, Витебская область (приложение Б). Число жителей составляет около 2,5 тыс. человек.

Система водоснабжения, централизованная с кольцевыми водораспределительными сетями. Источником водоснабжения в н.п. Воропаево являются 3 артезианские скважины.

Первая скважина 23809/72 (старая) была пробурена в 1972 году глубина скважины 102 м. Статический уровень 15 м, динамический при 1 понижении 25 м, дебит 15 м³/ч. Геологический разрез скважины представлен в приложении Б.

Новые скважины № 07/2020 и № 08/2020 пробурены в 2020 году. Глубина скважин 145 м. статический уровень 12 м, динамический 60 м, дебит 30 м³/ч. Геологический разрез скважин представлен в приложении В.

Анализ исходной воды из старой и новых скважин представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Химический состав артезианских подземных вод г.п.т. Воропаево*

Наименование показателей	Значение показателей		
	Старая	Новые	
		№1	№2
Производительность поселка по подземной воде: - суточная, м ³ /сут; - часовая (средняя), м ³ /ч.	До 200 16,5		
Мутность (ПДК=15 мг/дм ³)		3,8	3,7
Цветность (ПДК=20 град.)		13,7	13,2
Запах, привкус (ПДК=2 балла)		0	0
Величина рН (ПДК в пределах 6-9)	7,4	7,2	7,3
Величина Eh, мВ		?	?
Минерализация, общая (ПДК=1000мг/дм ³)	1759	2370	2370
Жесткость общая, (ПДК=7 мг-эquiv/дм ³)	12,8	38	37,1
Окисляемость перманганатная (ПДК=5,0 мгО ₂ /дм ³)	2,8	3,2	3,2
Хлориды Cl ⁻ (ПДК=350 мг/дм ³)	306	118,3	120,8

Сульфаты SO_4^{2-} (ПДК=500 мг/дм ³)	590	2000	2000
Железо Fe, общее (ПДК=0,3 мг/дм ³)	1,15	1,08	1,15
Марганец Mn^{2+} (ПДК=0,1 мг/дм ³)	0,1	0,18	0,21
SiO_3^{2-} (ПДК=10 мг/дм ³)	8	9	9
NH_4^+ (ПДК=2,0 мг/дм ³)	0,7	1,0	1,0
Нитриты NO_2^- (ПДК=2,0 мг/дм ³)		0,010	0,006
Нитраты NO_3^- (ПДК=45 мг/дм ³)	-	1,9	1,39

*Химическая лаборатория филиала «Докшицыводоканал» Витебского областного унитарного предприятия водопроводно-канализационного хозяйства «Витебскоблводоканал», аттестат аккредитации № ВУ/112 2.5150 от 13.09.2019г.

Таким образом подземная вода п.г.т. Воропаево относится к категории соленых вод, т.е. повышенной концентрации по общей жесткости и, особенно, по сульфатам. Содержание общего железа составляет 1-1,2 мг/дм³.

Следует отметить, что состав подземной воды по жесткости и сульфатам в «старой» скважине намного ниже, чем в двух «новых». Учитывая это обстоятельство, в настоящее время постоянно эксплуатируется только «старая» скважина.

3.2. Методика проведения анализов воды по рассматриваемым показателям.

Цель работы – применить при обработке подземных вод сложного состава метод обратного осмоса для снижения общего солесодержания, частности сульфатов и солей жесткости.

Решение задач:

- анализ станции обезжелезивания по предварительной обработке воды для удаления железа и марганца;
- подбор аппаратуры и оборудования блока обработки воды обратного осмоса;
- условия применения фильтров тонкой очистки;
- подбор селективных мембран;
- определение параметров работы установки обратного осмоса в режиме фильтрования;
- проведение регенерации мембранного блока

Анализ воды на содержание железа, марганца, солей жесткости и сульфатов является важной процедурой, необходимой для оценки ее качества и безопасности. В данном тексте я подробно опишу, как осуществлялся анализ этих компонентов воды согласно ГОСТу и каким образом происходил процесс определения.

ГОСТ 4011-72 р.3 – Железо общее. Метод основан на реакции ортофенантролина с ионами двухвалентного железа в области рН 3-9 с образованием комплексного соединения, окрашенного в оранжево-красный цвет. Интенсивность окраски пропорциональна концентрации железа. Восстановление железа до двухвалентного проводится в кислой среде гидроксиламином. Окраска развивается быстро при рН 3,0-3,5 в присутствии избытка феноантролина и устойчива в течение нескольких дней. Диапазон измерения массовой концентрации общего железа без разбавления пробы 0,05-2,0 мг/дм³. В этом интервале суммарная погрешность измерения с вероятностью 0,95 находится в пределах 0,01-0,02 мг/дм³.

Аппаратура, материалы и реактивы:

Фотоэлектроколориметр различных марок.

Кюветы с толщиной рабочего слоя 2-5 см.

Плитка электрическая.

Колбы мерные 2-го класса точности по ГОСТ 1770, вместимостью 50 и 1000 см³.

Пипетки мерные без делений вместимостью 10, 25 и 50 см³ и пипетки мерные с делениями 0,1-0,01 см³ вместимостью 1, 2 и 5 см³, 2-го класса точности по ГОСТ 29169 и ГОСТ 29227.

Колбы плоскодонные по ГОСТ 25336, вместимостью 150-200 см³.

Аммоний уксуснокислый по ГОСТ 3117.

Гидроксиламин солянокислый по ГОСТ 5456.

Квасцы железоаммонийные по нормативно-техническому документу.

Кислота соляная по ГОСТ 3118.

Кислота уксусная по ГОСТ 61.

Ортофенантролин.

Вода, дистиллированная по ГОСТ 6709.

Аммиак водный по ГОСТ 3760, 25%-ный раствор.

Проведение анализа

Определению мешают цианиды, нитриты, полифосфаты; хром и цинк в концентрации, превышающей в 10 раз массовую концентрацию железа; кобальт и медь в концентрации более 5 мг/дм³ и никель в концентрации 2 мг/дм³. Предварительное кипячение воды с кислотой превращает полифосфаты в ортофосфаты, добавлением гидроксиламина устраняется мешающее влияние окислителей. Мешающее влияние меди уменьшается при рН 2,5-4.

При отсутствии полифосфатов исследуемую воду тщательно перемешивают и отбирают 25 см³ (или меньший объем, содержащий не более 0,1 мг же-

леза, разбавленный до 25 см³ дистиллированной водой) в мерную колбу вместимостью 50 см³. Если при отборе пробы вода была подкислена, то ее нейтрализуют 25%-ным раствором аммиака до рН 4-5, контролируя потенциометрически или по индикаторной бумаге. Затем добавляют 1 см³ солянокислого раствора гидроксилamina, 2,00 см³ ацетатного буферного раствора и 1 см³ раствора ортофенантролина. После прибавления каждого реактива раствор перемешивают, затем доводят объем до 50 см³ дистиллированной водой, тщательно перемешивают и оставляют на 15-20 мин для полного развития окраски.

Окрашенный раствор фотометрируют при сине-зеленом светофильтре (490-500 нм) в кюветах с толщиной оптического слоя 2, 3 или 5 см по отношению к дистиллированной воде, в которую добавлены те же реактивы. Массовую концентрацию железа находят по градуировочному графику.

В присутствии полифосфатов 25 см³ исследуемой пробы помещают в плоскодонную колбу вместимостью 100-150 см³, прибавляют 1 см³ концентрированной соляной кислоты, нагревают до кипения и упаривают до объема 15-20 см³. После охлаждения раствора его переносят в мерную колбу вместимостью 50 см³, добавляют дистиллированную воду до объема примерно 25 см³ и доводят 25%-ным раствором аммиака до рН 4-5, контролируя потенциометрически или по индикаторной бумаге. Далее прибавляют реактивы и проводят анализ, как указано выше (при отсутствии полифосфатов).

Для построения градуировочного графика в мерные колбы вместимостью 50 см³ вносят 0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 10,0; 20,0 см³ рабочего стандартного раствора, содержащего в 1 см³ 0,005 мг железа, доводят объем дистиллированной водой приблизительно до 25 см³ и анализируют так же, как и исследуемую воду. Получают шкалу стандартных растворов с массовой концентрацией железа 0,0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1,0 и 2,0 мг/дм³. Фотометрируют в тех же условиях, что и пробу. Строят градуировочный график, откладывая по оси абсцисс массовую концентрацию общего железа в мг/дм³, а на оси ординат - соответствующие значения оптической плотности.

ГОСТ 4974-2014 (вариант 3) – Марганец.

Определение содержания марганца с устранением мешающего влияния хлорид-ионов добавлением серноокислой ртути (вариант 3).

Подготовка проб воды к анализу:

В термостойкую коническую колбу вместимостью 100, 250 или 500 см³ вносят цилиндром аликвоту пробы воды, добавляют 1 каплю пероксида водорода (раздел 5), 5 см³ смешанного реагента (6.5.1.1) и пробу концентрируют упариванием на плитке до 90 см³ или разбавляют дистиллированной водой до того же объема. Затем добавляют 1,0 г персульфата аммония (раздел 5) и на

электрической плитке доводят раствор до кипения и кипятят 3 мин.

Колбу охлаждают под струей холодной воды, ее содержимое переносят в мерную колбу вместимостью 100 см, доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают.

Примечание - Рекомендуемый объем аликвоты пробы составляет 100 см при ожидаемом значении массовой концентрации марганца в пробе от 0,05 до 1 мг/дм. При более низком содержании марганца (от 0,01 до 0,05 мг/дм) объем аликвоты должен быть увеличен до 250-500 см, а при более высоком (свыше 1 мг/дм) - уменьшен до 20 или 25 см.

Проведение измерений.

Проводят не менее трех раз измерение оптической плотности пробы и холостой пробы

Рассчитывают среднеарифметическое значение полученных значений.

Если значение оптической плотности подготовленной пробы выходит за верхний предел диапазона градуировочной характеристики, то анализ пробы повторяют, отобрав меньшую аликвоту, либо пробу воды до начала анализа разбавляют дистиллированной водой и проводят с разбавленной пробой все операции.

Коэффициент разбавления f рассчитывают по формуле:

$$f = \frac{V_k}{V_a}, \quad (3.1)$$

где V_k - объем мерной колбы, использованный для разбавления пробы, см;

V_a - объем аликвоты пробы, отобранный для разбавления, см.

Обработка результатов измерений.

При наличии компьютерной (микропроцессорной) системы сбора и обработки информации порядок обработки результатов определяется руководством (инструкцией) по эксплуатации прибора.

При отсутствии компьютерной (микропроцессорной) системы сбора и обработки информации массовую концентрацию марганца в пробе воды X , мг/д, рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{(A - A_0) \cdot V_2 \cdot f}{b \cdot V_1}, \quad (3.2)$$

V_2 - объем подготовленной пробы, см;

f - коэффициент разбавления [формула (5)];

b - угловой коэффициент градуировочной характеристики [формула (1)], (единицы оптической плотности), дм·мг;

V_1 - объем аликвоты пробы, взятой для проведения определения см.

За результат измерений массовой концентрации марганца принимают среднеарифметическое значение результатов двух измерений и, полученных в условиях повторяемости, при выполнении условия:

$$200|X_1 - X_2| \leq r(X_1 + X_2), \quad (3.3)$$

где r - значение предела повторяемости.

ГОСТ 31954-2012 (метод А) – Жесткость. Комплексонометрический метод (метод А).

Метод основан на образовании комплексных соединений трилона Б с ионами щелочноземельных элементов. Определение проводят титрованием пробы раствором трилона Б при рН=10 в присутствии индикатора. Наименьшая определяемая жесткость воды - 0,1 °Ж.

Если исследуемая проба была подкислена для консервации или проба имеет кислую среду, то в аликвоту пробы добавляют раствор гидроксида натрия (см. 4.3.8) до рН=6-7. Если проба воды имеет сильнощелочную среду, то в аликвоту пробы добавляют раствор соляной кислоты (см. 4.3.7) до рН=6-7. Контроль рН проводят по универсальной индикаторной бумаге или с использованием рН-метра. Для удаления из воды карбонат и бикарбонат ионов (что характерно для подземных или бутилированных вод) после добавления к аликвоте пробы раствора соляной кислоты до рН=6-7 проводят ее кипячение или продувание воздухом, или любым инертным газом в течение не менее пяти минут для удаления углекислого газа. Критерием наличия в воде значительного количества карбонатов может служить щелочная реакция воды.

Присутствие в воде более 10 мг/дм ионов железа; более 0,05 мг/дм каждого из ионов меди, кадмия, кобальта, свинца; свыше 0,1 мг/дм каждого из ионов марганца (II), алюминия, цинка, кобальта, никеля, олова, а также цветность более 200 °Ж и повышенная мутность вызывают при титровании нечеткое изменение окраски в точке эквивалентности и приводят к завышению результатов определения жесткости. Ортофосфат- и карбонат-ионы могут осаждать кальций в условиях титрования при рН=10.

Для уменьшения влияния содержащихся в воде цинка до 200 мг/дм, алюминия, кадмия, свинца до 20 мг/дм, железа до 5 мг/дм, марганца, кобальта, меди, никеля до 1 мг/дм к аликвоте пробы до введения индикатора добавляют 2

см раствора сульфида натрия; для уменьшения влияния марганца до 1 мг/дм, железа, алюминия до 20 мг/дм, меди до 0,3 мг/дм добавляют от 5 до 10 капель раствора гидросиламина гидрохлорида. Мутность (взвешенные вещества) пробы устраняют фильтрованием через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм или бумажные обеззоленные фильтры "синяя лента". Влияние цветности и других факторов устраняют разбавлением пробы в ходе анализа по 4.5, если это позволяет определяемое значение жесткости воды.

Порядок проведения определений.

Выполняют два определения, для чего пробу анализируемой воды делят на две части.

В колбу вместимостью 250 см помещают первую часть аликвоты пробы анализируемой воды объемом 100 см, 5 см буферного раствора от 5 до 7 капель раствора индикатора или от 0,05 до 0,1 г сухой смеси индикатора и титруют раствором трилона Б.

Вторую часть аликвоты пробы объемом 100 см помещают в колбу вместимостью 250 см, добавляют 5 см буферного раствора, от 5 до 7 капель раствора индикатора или от 0,05 до 0,1 г сухой смеси индикатора, добавляют раствор трилона Б, которого берут на 0,5 см меньше, чем пошло на первое титрование, быстро и тщательно перемешивают и титруют (дотитровывают).

ГОСТ 31940-2012 – Сульфаты. Определение содержания сульфат-ионов с использованием титриметрии с хлористым барием (метод 2).

Метод основан на титровании сульфат-ионов раствором хлористого бария. Ионы бария связывают сульфат-ионы, образуя слабо растворимый осадок сернокислого бария. В точке эквивалентности избыток ионов бария реагирует с индикатором (нитхромазо, хлорфосфоназо или ортаниловый К) с образованием комплексного соединения, при этом происходит изменение фиолетовой окраски на голубую.

Для уменьшения растворимости осадка сернокислого бария титрование проводят в водно-спиртовой или водно-ацетоновой среде.

Мешающее влияние взвешенных и коллоидных веществ устраняют предварительным фильтрованием пробы воды.

Для удаления окрашенных веществ пробу воды пропускают через колонку с активированным углем.

Для устранения мешающего влияния катионов пробу воды встряхивают с катионитом КУ-2 в Н форме.

Определению не мешают фториды, хлориды, нитраты и другие анионы в тех концентрациях, в которых они присутствуют в воде.

Титрование.

В две конические колбы вместимостью 100 см вносят по 20 см аликвоты

пробы воды, затем в каждую колбу добавляют 20 см спирта или ацетона, две капли 0,2%-ного раствора индикатора нитхромазо (или хлорфосфоназо) или три капли 1%-ного раствора ортанилового К и титруют раствором хлористого бария до изменения фиолетовой окраски на голубую, при этом титрование следует проводить медленно, при энергичном перемешивании до тех пор, пока голубая окраска будет сохраняться в течение 2-3 мин.

Примечание - Допускается изменять объем аликвоты пробы воды от 10 до 50 см, чтобы содержание сульфат-ионов соответствовало 0,5-5,0 мг в отбираемом объеме. При объеме аликвоты более 20 см пробу концентрируют упариванием на электрической плитке с закрытой спиралью до 10-20 см. Приливают спирт (или ацетон) в объеме, равном объему пробы воды, взятому для титрования.

При предполагаемом содержании сульфат-ионов более 500 мг/дм³ после обработки катионитом проводят разбавление пробы дистиллированной водой.

При предполагаемом содержании сульфат-ионов менее 25 мг/дм³ после обработки катионитом проводят концентрирование пробы упариванием.

Глава 4. Исследования и анализ работы установки обратного осмоса для обработки подземных вод сложного состава.

Цель работы: определить рабочие параметры эксплуатации установки обратного осмоса для удаления солей жесткости и сульфатов в подземной воде п.г.т. Воропаево.

Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи:

- выполнить анализ состава исходной подземной воды (см. пункт 3.1);
- выполнить анализ работы станции обезжелезивания с получением фильтра по концентрации общего железа до $0,3 \text{ мг/дм}^3$;
- определить параметры и обеспечить эффективную эксплуатацию установки обратного осмоса по удалению солей жесткости и сульфатов до нормируемых значений в 7 мг-экв/дм^3 и 500 мг/м^3 .

4.1 Анализ работы станции обезжелезивания.

Станция обезжелезивания необходима для предварительного осветления воды с удалением общего железа до $0,3 \text{ мг/дм}^3$

Технология обезжелезивания основана на способности воды, содержащей двухвалентное железо и растворенный кислород, при фильтровании через зернистый слой выделять железо на поверхности зерен, образуя каталитическую пленку из ионов и окислов двух- и трехвалентного железа. Эта пленка активно интенсифицирует процесс окисления и выделения железа из воды. Обезжелезивание воды в загрузке, покрытой пленкой, является гетерогенным автокаталитическим процессом, в результате чего обеспечивается непрерывное обновление пленки как катализатора непосредственно при работе фильтра. Для обеспечения необходимого для окисления количества растворенного кислорода предусматривается аэрация исходной воды с помощью эжекторов, входящей в состав комплекса. Избыток воздуха удаляется через клапан-сбросник в верхней части емкости фильтра.

Для предварительного осветления и обезжелезивания подземных вод на объекте н.п. Воропаево используется станция обезжелезивания серии "Акватон-Эко-БМУ-25-MLS-1000х4К" в следующей комплектации:

1. Напорный стальной фильтр-модуль 01000мм - 4 шт.
2. Технологические трубопроводы с запорно-регулирующей арматурой для 4 фильтров— 1 комплект;
3. Насос водоструйный (Эжектор)- 4 шт.

4. Фильтрующая загрузка (Кварцевый песок 4,71 т; БАЗ 0,47 т) - 1 комплект
5. Насос промывной - 2 шт (1 раб., 1 рез)
6. Блок автоматизации (компрессор для пневмоуправления - 2 шт (1 раб., 1 рез.) N=2x1,1 кВт) - 1 компл.
7. Водомерный узел исходной воды - 1 компл.
8. Водомерный узел очищенной воды - 1 компл.
9. Щит управления - 1 компл.
10. Контейнер утепленный (2,4x2,6x7,5 м) - 1 шт.

Установка изготовлена в соответствии с ТУ ВУ 190199285.003-2012 (производитель и разработчик ООО «Евровода») и предназначен для очистки от:

- механических взвесей;
- железа в воде, поступающей из подземных источников с качеством, позволяющим применять метод напорной аэрации с последующим фильтрованием.

Станция спроектирована и изготовлена с учётом работы в непрерывном режиме и при соблюдении требований и условий эксплуатации, указанных в данной инструкции, обеспечивает длительное и надежное функционирование в течение всего срока службы. Случаи остановок обусловлены лишь проведением планового обслуживания или ремонта компонентов установки, реагентных промывок или других видов обслуживания.

Для эксплуатации станции обслуживающему персоналу не требуется большого объема знаний по водоочистке, и она спроектирована для работы в автоматическом режиме, при его эксплуатации требуется минимальный контроль.

Станция комплектуется фильтрами, которые относятся к классу вертикальных напорных фильтров, предназначенных для очистки воды подземных и поверхностных источников и доочистки воды систем централизованного и нецентрализованного водоснабжения от мелкодисперсных частиц и взвесей, железа, марганца, сероводорода.

Система аэрации: насыщение воды кислородом воздуха производится при помощи эжекторов.

Каждый фильтр оборудован системой сброса избыточного воздуха. Попадание воздуха в загрузку и очищенную воду не допускается.

Управление фильтрами обезжелезивания осуществляется шкафом управления с контроллером. Контроллер передает сигнал на пневмоблок, который производит открытие/закрытие клапанов.

Основные требования к качеству исходной воды, поступающей на фильтры обезжелезивания:

- мутность по окисленному железу, мг/л - не более 10,0;
- цветность по окисленному железу, град- не более 20,0;
- температура, °С: +4 - + 18;
- железо общее, мг/л - не более 8,0 (в том числе двухвалентное 70%);
- марганец, мг/л - не более 0,3;
- нефтепродукты - отсутствие;
- перманганатная окисляемость - не более 5,0 мгО₂/дм³;

Технология обезжелезивания основана на способности воды, содержащей двухвалентное железо и растворенный кислород, при фильтровании через зернистый слой выделять железо на поверхности зерен, образуя каталитическую пленку из ионов и окислов двух- и трехвалентного железа. Эта пленка активно интенсифицирует процесс окисления и выделения железа из воды. Обезжелезивание воды в загрузке, покрытой пленкой, является гетерогенным автокаталитическим процессом, в результате чего обеспечивается непрерывное обновление пленки как катализатора непосредственно при работе фильтра. Для обеспечения необходимого для окисления количества растворенного кислорода предусматривается аэрация исходной воды с помощью эжекторов, входящей в состав комплекса. Избыток воздуха удаляется через клапан-сбросник в верхней части емкости фильтра.

Установка спроектирована и изготовлена с учётом работы в непрерывном режиме и при соблюдении требований и условий эксплуатации, указанных в данной инструкции, обеспечивает длительное и надежное функционирование в течение всего срока службы. Случаи остановок обусловлены лишь проведением планового обслуживания или ремонта компонентов Установки, реагентных промывок или пуско-наладочных работ других видов оборудования.

Таблица 4-1 - Технические характеристики станции обезжелезивания серии «Акватон-Эко-БМУ-25-МБ5-1000х4К»

	Электропитание системы	220В, 50Гц
1.	Необходимое давление перед станцией водоподготовки	0,2 - 0,6 МПа
2.	Заводское испытательное давление фильтра	• до 1МПа
3.	Потери давления на установке, не более, МПа	0,21-0,23
4.	Рабочий диапазон температур, С°	5-45
5.	Срок службы фильтрующей загрузки	15 лет
6.	Срок эксплуатации технологического оборудования, не менее	30 лет

7.	Автоматизация станции обезжелезивания	Автоматизация оборудования на базе промышленных контроллеров, без постоянного присутствия обслуживающего персонала (предусмотрено управление работой станции в ручном режиме).
8.	Масса фильтра при максимальной загрузке, т.	3,0 т.
9.	Категория здания по взрывопожарной и пожарной опасности	д
10.	Степень огнестойкости контейнера	IV

Таблица 4.2 – Основные параметры работы станции обезжелезивания

№ п.п	Параметр	Значение
<i>Общая характеристика станции обезжелезивания</i>		
1.	Качество воды после установки	Согласно СанПиН 10-124-99 РБ «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» и СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода и водоснабжение населенных мест»
2.	Схема водоснабжения	Скважина - станция обезжелезивания - резервуар чистой воды (Заказчика)
3.	Применяемая технология осветления	Безреагентный метод очистки
4.	Тип установки	Напорная блочно-модульная установка водоподготовки
5.	Производительность одного фильтра	6,25 м ³ /час
6.	Номинальная производительность станции	25 м ³ /ч (600 м ³ /сут)
7.	Количество фильтров	4
8.	Максимальная производительность	25 м ³ /ч (600 м ³ /сут)
<i>Технические характеристики комплекса</i>		
9.	Исполнение фильтров-модулей	Напорный
10.	Материал обвязочных трубопроводов установки обезжелезивания	НПВХ, ПНД
11.	Подача воды на фильтр при фильтровании	Сверху-вниз равномерно, независимо от фильтроцикла
12.	Скорость фильтрования при среднечасовой производительности	8 м/час
15.	Скорость фильтрации в форсированном режиме	11 м/час
16.	Тип промывки	водяная

17.	Расход воды на промывку одного фильтра при интенсивности 18 л/с*м ² , л/с	14 л/сек
18.	Продолжительность промывки водой	5 мин
19.	Периодичность промывки (продолжительность фильтроцикла ~ 168 ч). Окончательно определяется по результатам пуска наладочных	1 раз в неделю работ.
22.	Расход промывной воды	50,9 м ³ /ч
23.	Количество воды на промывку одного фильтра	~ 4,24 м ³
24.	Количество фильтров	4 шт.
25.	Диаметр фильтра, мм	1000
26.	Установленная мощность	8,4 кВт
27.	Расчетная мощность технологического оборудования (без учета резервного)	4,3 кВт
28.	Мощность на электрообогрев	3 кВт

Анализ работы станции обезжелезивания показывает, что станция обезжелезивания работает эффективно по концентрации общего железа не более 0,3 мг/дм³.

4.2. Установка обратного осмоса

Мембранная установка обратного осмоса «Акватон-Эко БМУ-RO 2» (далее Установка) изготовлена в соответствии с ТУ ВУ 190199285.003-2012 (производитель и разработчик ООО «Евровода») и предназначена для получения обессоленной воды, удовлетворяющей технологическим требованиям.

Состав системы:

- вследствие отсутствия предварительной подготовки воды предусмотрена станция дозирования антискалянта.

- Фильтр барьерный SL состоит из фильтродержателя и фильтрующего элемента.

- 1) Фильтродержатель изготавливается из полипропилена и состоит из корпуса и крышки.

- 2) Фильтрующий элемент предназначен для тонкой очистки от механических загрязнений и коллоидных взвесей жидкости. Рейтинг фильтрации составляет 1-5 мкм.

- Модуль мембранный обратноосмотический ММ содержит корпус, в котором расположено два обратноосмотических элемента. Рабочее давление в

мембранном контуре создается центробежным насосом фирмы. Допускается замена на насосы других зарубежных фирм с аналогичными характеристиками.

- Контроллер предназначен для организации алгоритма работы установки, обеспечения защиты.

Питание осуществляется от источника переменного тока напряжением 220В, частотой 50 Гц.

- станция промывки установки обратного осмоса включает в себя емкость для реагентов и насос для промывки установки обратного осмоса.

Комплект поставки:

1. рама из стали с полимерным покрытием – 1 шт.;
2. префильтр (уровень фильтрации 1-5 микрон) – 1 шт.;
3. насос высокого давления – 1 шт.;
4. корпус высокого давления, мембранные модули Toray, Япония – 1 компл.;
5. манометры;
6. выключатели по давлению;
7. ротаметры - вентили;
8. соленоидные вентили;
9. шаровые вентили;
10. краны отбора проб воды;
11. электрощит с панелью для размещения блока управления и электропитания установки и электронным микропроцессорным контроллером ROC 2315;
12. портативная станция промывки установки обратного осмоса (Емкость для хим. реагентов – 1 шт.;
13. Насос промывки обратного осмоса – 1 шт.;
14. станция дозирования антискалянта – 1 шт.;
15. Комплект трубопроводной арматуры;

Эксплуатационно-технические характеристики представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Эксплуатационно-технические характеристики установки обратного осмоса

№, п/п	Показатели	Значения
	Производительность по пермеату при температуре 10°С	2 m ³ /h 1
	Рабочее давление	16 bars
	Конверсия	60-70%
	Давление исходной воды до насоса высокого давления	2,5 – 4 bars
	Селективность по хлору	98%
	Мембрана 8040	2шт
	Потребляемая электроэнергия	380V / 50Hz
	Селективность	98%

	Мембрана 8040	2шт
	Потребляемая электроэнергия	380V / 50Hz
	Потребляемая мощность:	4000 Вт
	Габариты установки обратного осмоса: - высота - ширина - длина	1780 mm 600 mm 2500 mm

Подготовленная вода, поступающая на вход установки, проходит через фильтр тонкой очистки 5 микрон и следом 1 микрон, через насос высокого давления, который обеспечивает необходимое рабочее давление для мембран.

Насос высокого давления обеспечивает необходимое давление на входе мембран, а также необходимый объем сырой воды для процесса обессоливания.

Чистая вода со стороны пермеата без давления поступает потребителю или в накопительную ёмкость. Количество пермеата устанавливается конверсией, не превышающей 70 %.

Высококонцентрированный концентрат сливается в дренажную систему.

Настройка конверсии, количества пермеата или концентрата осуществляется регулировочными клапанами по показаниям контроллеров производительности (ротаметры). Рабочее давление и давление концентрата контролируется манометрами. Микропроцессор контролирует процесс обессоливания, а также неисправности.



Рисунок 4.1 - Установка обратного осмоса г. Воропаево для обессоливания воды. Докшицкий район, Витебская область.

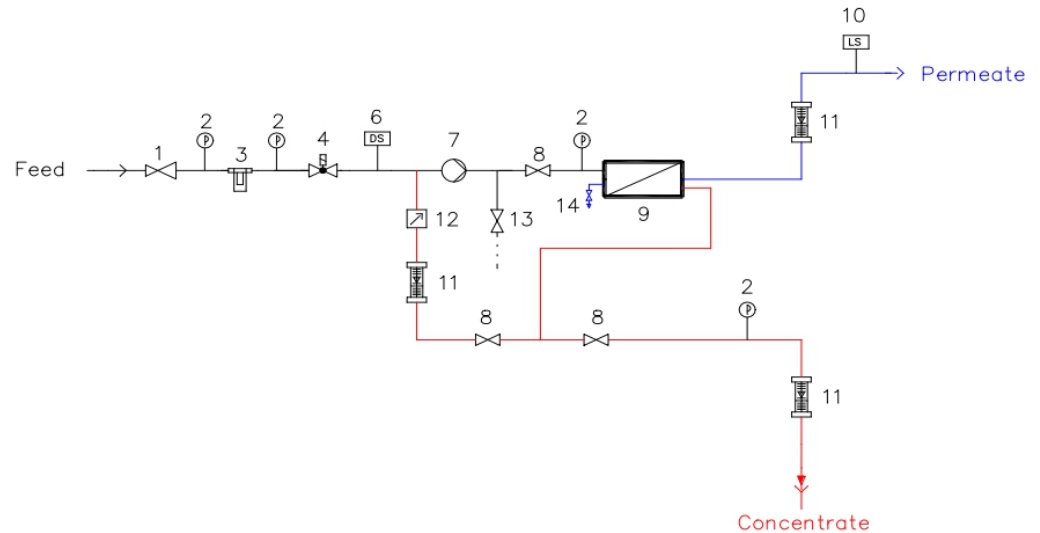


Рисунок 4.2 - Гидравлическая схема обратноосмотической установки

Требования к качеству исходной воды приведены в таблице 4.4

Таблица 4.4 - Требования к качеству исходной воды

Жёсткость	<0,2 мг-экв/л
Электропроводность	<3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Мутность	не более 1 NTU (~ 0,58 мг/л)
TDS (растворимые соли)	<1500 mg/l
pH-параметр	< 8
Температура воды	10 ÷ 30°C
Железо общее:	<0,1мг/л
Растворенное железо (Fe+2)	<0,2 мг/л
Алюминий	менее 0,1 мг/л
Марганец	менее 0,05 мг/л
Свободный хлор	<0,1 мг/л
Концентрация взвешенных частиц	<0,1мг/л
Микробиологические загрязнения	отсутствие
Органические загрязнения по ТОС	не более 3 мг/л
Блокирующий параметр SDI	< 3
БПК5	менее 5 мгО/л
ХПК	менее 15 мгО/л
Нефтепродукты	отсутствие
Сероводород и сульфиды	отсутствие
Твердые абразивные частицы	отсутствие

4.3 Экспериментальная часть по работе установки обратного осмоса

Анализ таблицы 4.4. показывает, что кроме предварительной водоподготовки на станции обезжелезивания, перед установкой обратного осмоса еще дополнительно нужно было бы выполнить обработку подземной воды реагентным (известково-содовым методом) с получением общей жесткости до 0,2 мг-экв/дм³ и провести мероприятия по снижению концентрации солей (минерализации) до 1500 мг/дм³.

Однако использования подземной воды для п.г.т. Воропаево такой подход потребует много реагентных материалов и высококвалифицированный специально обученный персонал, что невозможно данных в условиях.

Применение ионного обмена также затруднительно ввиду очень больших и сложных по конструкции катионно-анионных фильтров с их частой регенерацией.

Поэтому было принято следующее решение.

В качестве исходной воды использовать «старую» скважину на максимальную часовую производительность 25 м³/ч и суточную - 600 м³/сут. Однако в настоящее время в работе находятся два фильтра на максимальный час в поселке – 12 м³ч (150-170 м³/сут)

Вода после станции обезжелезивания поступает в два резервуара чистой воды по 100 м³ (с 2018 г. работает один), которые могут сообщаются между собой. Низкий уровень воды в резервуаре равен 1,48 м, верхний – 1,8м (для включения и отключения скважины).

В этот же резервуар, по системе «байпас» (т.е., забиралась с ближней точки резервуара и подавалась в его дальнюю точку), была подключена и установка обратного осмоса, которая работала до 8 ч/сут с 9-00 до 18-00 в автоматическом режиме. В итоге насосы второго подъема из резервуара подавали эту смешанную воду со станции обезжелезивания и обратного осмоса в поселок в соответствие с режимом водопотребления.

Работа установки обратного осмоса позволяла получить фильтрат с малой жесткостью до 2 мг-экв/дм³ и концентрацией по сульфатам до 120 мг/дм³.

При использовании старой скважины вода в поселок подавалась с жесткостью 7 мг-экв/м³ и концентрациями по сульфатам до 550 мг/дм³. В начальный период продолжительность работы установки в межрегенерационный период составляла 1,5-2 месяца. Но при последующей эксплуатации этот период снизился до ½ месяца и в конечном итоге вообще установка перестала работать (происходило срабатывание датчика давления из-за засорения мембран).

Регенерация установки осмоса производилась по его инструкции эксплуатации в два этапа: кислотная с помощью 2% раствора лимонной кислоты $C_6H_8O_7$ и щелочная 8-12% едкого натра $NaOH$.

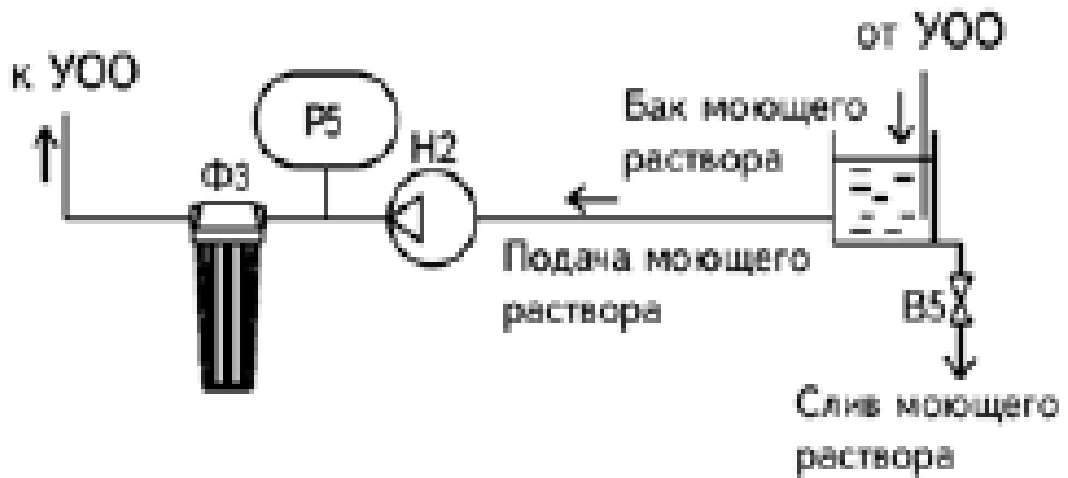


Рисунок 4.3. Замкнутая схема промывки мембранного блока.

Последовательность действий при кислотной промывке:

- Закройте вход подачи воды – магнитный клапан выключения установки.
- Соедините посредством регулировочных клапанов вход и выходы пермеата, концентрата так, чтобы обеспечить циркуляция чистящего раствора через ёмкость химического раствора. Откройте полностью вентиль со стороны концентрата.
- Включите моющий дополнительный насос, при этом давление циркуляции химического раствора через систему не должно превышать 3-5 бар.
- Приготовьте чистящий раствор с добавлением необходимого количества лимонной кислоты с пермеатом (1,1 кг на 100 л воды, $pH=2,2-2,6$)
- Чистящий раствор следует включить в режим циркуляции через ёмкость с химическим раствором от 0,5 до 2 часов при температуре не превышающей $60\text{ }^{\circ}C$ и давлении 5бар. Контролируйте значение pH , которое для кислотных растворов не должно быть менее 2.
- После промывки соедините систему так, чтобы вода входов концентрата и пермеата сливалась в дренажную систему. Промойте систему в течение не менее 30 минут. Проверьте после этого показатели системы и, если не произошло положительных изменений в производительности и качестве пермеата, повторите вышеуказанную процедуру промывки ещё раз с новоприготовленным раствором.

Такую промывку производили несколько со слежением за величиной $pH \leq 2,6$, установка включалась на непродолжительное время и опять выключалась.

Дополнительная щелочная промывка, проводимая в такой же последовательности, но раствором едкого натра в количестве 1,25 кг на 100 л воды, из-за неудовлетворительной промывки лимонной кислотой также не дала положительных результатов.

Поэтому было принято решение вести процесс кислой химической промывки раствором не **лимонной**, а **соляной кислотой**.

В нашем случае. Попробовать работу установки после станции обезжелезивания на подземной воде с высокими значениями по сульфатам и солям жесткости с контролем окисляемости.

Итак, в ходе эксперимента было выполнено:

Регенерация мембранного блока.

1. Химическая промывка. Сентябрь 2023.

Для проведения химической промывки была использована соляная кислота HCl , с контролем уровня величины pH , при ее значении в исходной воде - 7,3.

Первый день.

На 100 л подогретой до $30^{\circ} C$ воды использовано 600 мл HCl , $pH=1,3$. Произведен слив емкости 100 л, 2 раза на половину, наполнение чистой водой, получение величины $pH=2,3$.

Первая промывка. Запуск промывки в соответствие с порядком кислотной промывки. Длительность промывки составила 2 ч. Осуществлена отмывка мембраны чистой водой из РЧВ до $pH 6,2$ и оставлена на ночь. Раствор оставлен на ночь.

Второй день.

Вторая промывка.

Утром добавлено кислоты 100 мм $pH=3,05$.

10:08. Запуск промывки.

10:10 - $pH 3,4$

10:20 – $pH 4,7$, добавляем 50 мл соляной кислоты.

10:40 – $pH 3,0$

11:20 – $pH 3,0$

11:30 – Отмывка чистой водой.

Третья промывка.

После обеда добавлено 0,2 л соляной кислоты HCl , $pH 2,30$.

14:18. Запуск промывки – $pH 2,26$

14:28 – $pH 4,18$, добавляем 50 мл соляной кислоты.

14:38 – рН 2,97, добавляем 20 мл соляной кислоты.

14:50 – рН 3,10, добавляем 20 мл соляной кислоты.

14:55 – рН 2,60

15:10 – рН 2,80

16:00 – рН 2,90 оставляем на ночь.

Третий день: производим промывку раствором 45 л подогретой до 30° С воды и 200 мл соляной кислоты рН 2.3.

Запуск промывки 09:30 – рН 2,93

09:50 – рН 3,20.

10:15 – рН 3,15.

10:30 – рН 3,16.

10:55. Отмывка из РЧВ.

11:05 – рН 6,95.

11:30 – рН 6,90.

2. Щелочная промывка.

После многоступенчатой кислотной промывки для надежности дополнительно проводим щелочную промывку. Для ее проведения промывку используем соду каустическую NaOH, контролируем уровень рН. Подготавливаем раствор: 60 л. воды, подогретой до 25 °С, 6 кг NaOH.

13:45 Запускаем промывку.

14:05 Останавливаем промывку, сода выпадает в осадок, забивает фильтрующие элементы. Отстаиваем щелочной раствор, сливаем осадок.

15:05 Запускаем промывку рН 12,6

15:58 рН 12,14.

16:25 Промывка мембран от щелочного раствора.

16:45 рН 9,60

16:55 рН 8,60. Останавливаем промывку.

В дальнейшем была поставлена задача: определить фильтроцикл и параметры работы при максимальной концентрации сульфатов до 500 мг/дм³ и солям жесткости до 7 мг-экв/дм³ (нормативы по питьевой воде).

При исходных высоких солях жесткости и сульфатов после промывки получили остаточную жесткость порядка 1-1,5 мг-экв/дм³ и по сульфатам до 80 мг/дм³. После перемешивания и разбавления в РЧВ концентрации основных загрязнений в водопроводной сети в течении 2 месяцев после реанимации мембранного блока раствором соленой кислоты по жесткости составили менее 7, сульфатам менее 500, что соответствует нормативам СанПиН.

После проведения повторной промывки (кислотная – 2 раза, щелочная -1) фильтроцикл в режиме эксплуатации составил более 3-х месяцев.



Рисунок 4.4 - Химическая регенерация мембран. Нагрев кислотного раствора pH=2,2 до 30 °С

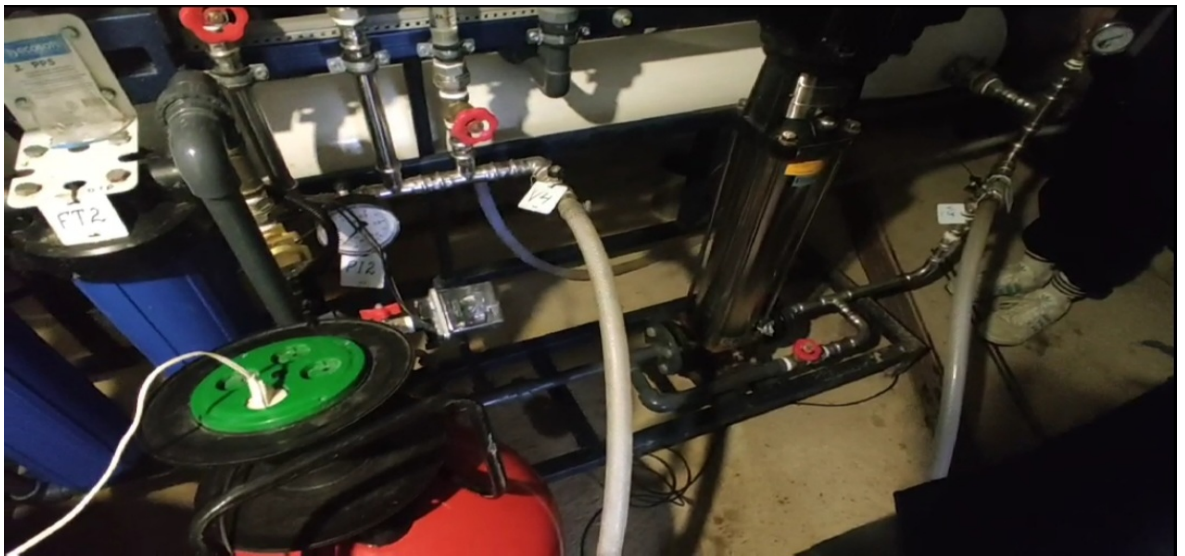


Рисунок. 4.5 - Химическая регенерация мембран.

Таким образом, химическая промывка мембран раствором соляной кислоты позволило провести их регенерацию с возможностью дальнейшей эксплуатации при более длительном фильтроцикле.

Основные полученные данные по регенерации мембран приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Основные параметры промывки мембран

Тип кислотной промывки	Показатели промывки					
	Величина рН	Емкость бака, м ³	Общее время промывки, час	Общее время отмытки, час	Фильтроцикл, мес.	Примечание
Кислотная промывка лимонной кислотой	2,4	100	12	1	1-я – 2 мес; 2-я – 1,7 мес. 3-я – 1,5 4-я – 1,0	После 5-й промывки установка прекратила работу
Соляная Кислота.	2,3	100	1-я – 8 ч 2-я – 4 ч.	1,5 0,5	3 мес. 3,5	
Щелочная промывка	10-12	100	3	0,5	2 – лимонная кислота; 3 – соляная кислота	

Заключение

Изучение литературных источников по технологии очистки подземных вод обратным осмосом от железа и марганца, солей жесткости и сульфатов позволяет сделать вывод о значительном интересе к этой проблематике в научном сообществе. Результаты исследований и опыт практического применения таких технологий описываются в литературе с целью разработки эффективных и экономически целесообразных методов очистки воды. Это позволяет предположить, что использование обратного осмоса в сочетании с другими технологиями может быть перспективным подходом для решения проблемы загрязнения подземных вод различными веществами. Дальнейшие исследования и практические разработки в этой области могут привести к разработке более эффективных и доступных методов очистки воды для различных целей, что является важным шагом в обеспечении доступа к чистой питьевой воде для всех.

Выводы по изложенным методам обработки подземной воды позволяют сделать важные наблюдения о широком спектре технологий, применяемых для очистки и обогащения водных ресурсов. Основные методы, такие как упрощенная и интенсивная аэрация, биологический метод, ионный обмен и обратный осмос, представляют собой разнообразные подходы к решению проблем качества воды в подземных источниках.

Метод упрощенной аэрации прост в использовании и обладает относительно невысокими затратами, что делает его привлекательным для некоторых сценариев очистки воды. Однако он может быть менее эффективным в сравнении с более продвинутыми методами, такими как интенсивная аэрация или обратный осмос.

Интенсивная аэрация, с другой стороны, обеспечивает более глубокое и эффективное насыщение воды кислородом, что способствует удалению различных загрязнений, включая органические вещества и металлы.

Биологический метод основан на использовании микроорганизмов для разложения загрязнений в воде, что делает его экологически чистым и эффективным для определенных типов загрязнений.

Для удаления солей жесткости и снижения минерализации подземных вод эти методы могут быть применены только как предварительные

Ионный обмен и обратный осмос представляют собой технологии, основанные на принципе селективного удаления ионов из воды, что делает их мощными инструментами для очистки воды от солей и различных загрязнений.

Таким образом, разнообразие методов обработки подземной воды предоставляет возможность выбора, наиболее подходящего под конкретные

требования и условия, обеспечивая эффективное и устойчивое использование водных ресурсов.

В ходе исследования и анализа работы установки обратного осмоса для обработки подземных вод сложного состава были выявлены ключевые технологические особенности и преимущества применения различных методов очистки.

Анализ работы станции обезжелезивания подчеркнул эффективность технологии обезжелезивания, основанной на образовании каталитической пленки из ионов и окислов железа. Гетерогенный автокаталитический процесс в загрузке с пленкой обеспечивает непрерывное обновление катализатора, что в свою очередь поддерживает эффективную работу фильтра. Установка спроектирована с учетом непрерывного режима работы, обеспечивая длительное и надежное функционирование при соблюдении условий эксплуатации.

Целью данной работы является изучить особенности очистки подземных вод сложного состава, содержащих повышенные концентрации солей жесткости и сульфатов на установке обратного осмоса и провести исследования по уточнению параметров промывки мембран.

Для конкретного рассматриваемого объекта при достижении поставленной цели были выделены и решены следующие **задачи**:

- а) изучение литературных источников по технологии очистки подземных вод обратным осмосом от железа и марганца, солей жесткости и сульфатов;
- б) качественное исследование и оценка инклюзивного воздействия используемых параметров обработки подземных вод обратным осмосом: условия применения фильтров тонкой очистки, подбор селективных мембран, определение параметров работы установки обратного осмоса в режиме фильтрования
- г) разработка порядка проведения регенерации мембранного блока химических промывок установки обратного осмоса.

Основное внимание также уделено мембранной установке обратного осмоса "Акватон-Эко БМУ-RO 2". Комплектация установки включает разнообразные компоненты, такие как фильтр барьерный SL, мембранный модуль обратного осмоса, контроллер, станция дозирования антискалянта и другие элементы, обеспечивающие высокую эффективность процесса очистки. Важно отметить, что установка спроектирована для автоматической работы, минимизируя необходимость в обширных знаниях по водоочистке у обслуживающего персонала.

Технические характеристики установки подчеркивают ее производительность, рабочее давление, конверсию, а также требования к качеству исходной воды. Принцип работы установки обратного осмоса подразумевает последовательное прохождение воды через фильтры тонкой очистки и насос высокого

давления перед процессом обессоливания с использованием мембраны обратного осмоса.

Обобщая, можно отметить, что установка обратного осмоса представляет собой комплексное и технологичное решение для обработки подземных вод сложного состава. Ее конструкция и принцип работы обеспечивают высокую степень очистки, автоматизированность процесса и долгосрочную надежность в условиях непрерывной эксплуатации.

Из анализа эксплуатации установки обратного осмоса, проведенного согласно заводской инструкции по эксплуатации, следует, что подход к регенерации мембран раствором лимонной кислоты не обеспечивает оптимальной работы мембран. Это приводит не только к необходимости частой химической промывки мембран лимонной кислотой, но и полному прекращению работы установки.

Примененный метод химической промывки раствором соляной кислоты позволил реанимировать мембраны и при исходных высоких солях жесткости и сульфатов после промывки получили остаточную жесткость порядка 1-1,5 мг-экв/дм³ и по сульфатам до 80 мг/дм³. После перемешивания и разбавления в РЧВ концентрации основных загрязнений в водопроводной сети в течении 2 месяцев после реанимации мембранного блока раствором соленой кислоты по жесткости составили менее 7, сульфатам менее 500, что соответствует нормативам СанПиН.

После проведения повторной промывки (кислотная – 2 раза, щелочная -1) фильтроцикл в режиме эксплуатации составил более 3-х месяцев.

Т.е., проведенные эксперименты, включающие щелочную и химическую регенерацию мембран, показали, что химическая промывка с использованием соляной кислоты более эффективна в удалении отложений на мембранах. По результатам регенерации рекомендуется использовать химическую промывку с периодичностью один раз в три месяца.

Таким образом, предложенный подход к обработке подземных вод с использованием установки обратного осмоса и оптимизации процесса химической промывки мембран является более эффективным и экономичным, что позволит поддерживать высокое качество воды в системе с минимальными затратами на обслуживание.

Практическая значимость данной магистерской диссертации заключается в применении полученных результатов при эксплуатации установки обратного осмоса. Результаты работы были представлены на региональном семинаре по обработке подземных вод (сентябрь 2022 г.) Витебского учебного центра ЖКХ и ГЦ «Жилком» (декабрь 2023 г.). В дальнейшем будут использованы на объектах УП «Витебскоблводоканал».

По результатам работы подготовлена к печати статья (предполагается в сборник ПГУ (срок издания – март 2024 г).

Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. Водные ресурсы Республики Беларусь, их использование и охрана. - Минск: ЦНИИКиВР, 2016. - 24 с.
4. Водный Кодекс Республики Беларусь: Кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-3 (ред. от 20.10.2006 г.) // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 20.05.2014, 2/2147.
5. 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.
7. Гурский В.Л., Пуко Е.И. Организационно-экономические аспекты региональной централизации управления водопроводно-канализационным хозяйством (на примере Витебской области) // Экономическая наука сегодня: сб. науч. ст. / БНТУ; ред. кол. С.Ю. Солодовников [и др.]. – Минск, 2019. - Выпуск № 9. - С. 152-168.
8. 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.
9. 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.
10. В. П. Просолов. Особенности очистки подземных вод сложного состава на установках напорного типа. Диссертация на соискание ученой степени магистра технических наук. ПГУ, Новополоцк. 2022 г. - 47стр.
11. Галай, Е.И. Использование природных ресурсов и охрана природы / Е.И. Галай. - Минск: Высшая школа, 2007. – 252 с.

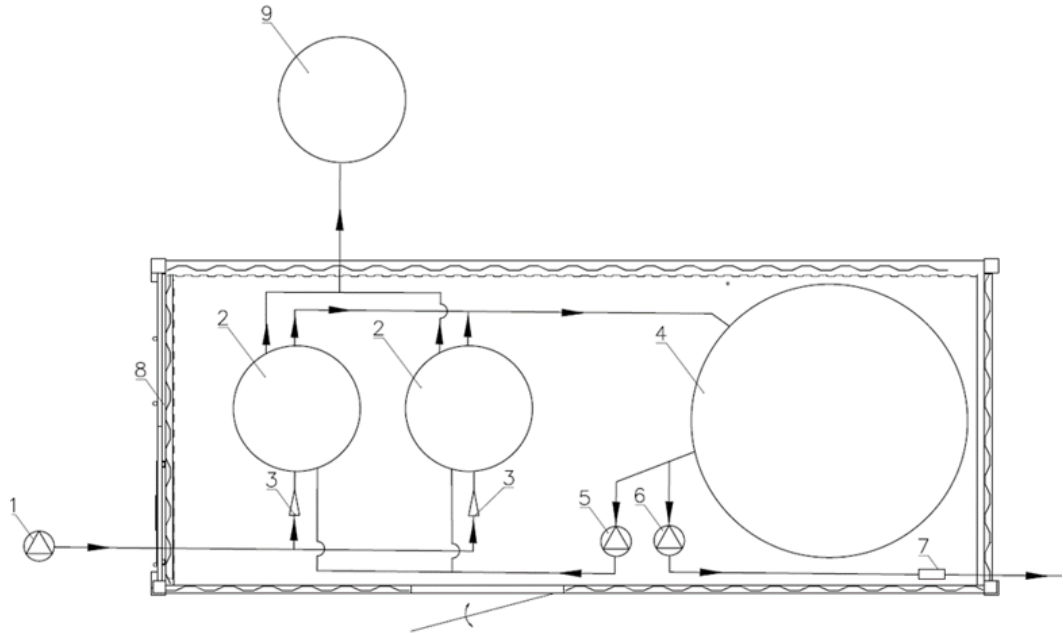
12. Дементьева, А.В. География Белоруссии / А.В.Дементьева. – Минск-1977.
13. Кудельский А.В. Пашкевич В.И. Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси. – Минск: Белорусская наука. 2014. – 271 с.
14. Belarus Water Sector Framework 2nd Phase – Recommendations and Roadmap for Sector Regionalisation. Final report of May 02, 2019.
15. Vitebsk Pilot Regionalisation Review and Recommendations Report Preliminary Recommendations – Summary of August 25, 2018.
16. North Belarus Clean Water Sub-Project: Financial Analysis Report. Final report of November 29, 2018.
17. North Belarus Clean Water Sub-Project: Technical Assessment Report. Final report of November 29, 2018.
18. North Belarus Clean Water Sub-Project: Environmental and Social Assessment Report. Final report of November 29, 2018.
19. СанПиН 10-124 РБ 99. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
20. СН 4.01.01-2019 РБ. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения
21. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. М.: Стройиздат, 2003. – 228 с.
22. Беликов С.Е. Водоподготовка: Справочник. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
23. Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. М., Стройиздат,1995;
24. Сомов М.А., Квитка П.А. Водоснабжение. «Инфра-М», 2007. – 288с;
25. Николадзе Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод. – М: Стройиздат, 1978 г. - 160 с.
26. Фрог Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог А.П. Левченко. – М.: Издательство МГУ, 2003. – 680 с.
27. Кульский, Л.А. Основы физико-химических методов обработки воды М.: МКХ РСФСР, 1962-221 с.
28. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. – М: Стройиздат. 1975. – 176 с.
29. 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.
30. 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

31. 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.
32. Седлухо Ю.П. и др. Очистка сложных многокомпонентных вод биохимическими методами // Вода Magazine – 2014, №6 (82).
33. Душкин С.С., Краев И.О. Эксплуатация водоснабжения и водоотведения. Киев: ГСДО, 2003. – 119 с.
34. Никаноров, А.М. Гидрохимия: учебник/ А.М. Никаноров. -2-е изд. перераб. и доп. -Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2001 – 444 с.
35. Умягчение воды на промышленных предприятиях: Учеб. пособие / Г.П. Чайковский/. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2005 г.;
36. Подготовка воды для производственного водоснабжения: Учеб. пособие / В.Д. Дмитриев, Г.Г. Рудзский/. – Ленинград, 1980 г.;
37. Методические указания к выполнению курсового проекта на тему «Расчет балансовой схемы и станции умягчения воды промышленного предприятия» / Под редакцией Д.П. Комаровского/ – Новополоцк, УО «ПГУ», 2015. – 72с.
38. Ташенев К.М. Подготовка технической воды. Алматы: КазГАСА, 1997. – 172 стр.
39. Особенности использования метода упрощенной аэрации подземных вод для напорных установок/ Ющенко В.Д., Велюго Е.С., Рашкевич Е.И., Ершова Е.С. / Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве в водном транспорте: сбор. науч. трудов. междунар. науч. конф., Минск, 28-29 апреля 2022 г. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 133-137.
40. Алёкин, О.А. Основы гидрохимии/ О.А. Алёкин - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1953 – 301 с.
41. Дмитриев В.Д., Мишуков Б.Г. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения. М., 2007. – 383 с.
42. Гуринович А.Д. Системы питьевого водоснабжения с водозаборными скважинами: Планирование, проектирования, строительство и эксплуатация. - МН.: УП «Технопринт»; 2004. – 244 с.
43. Инновации в способах очистки обратноосмотических мембран. О.Г. Сизоненко, Д.С. Соколов, И.В. Гриневич Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель Белорусский национальный технический университет, г. Минск. 2021. – 6 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.

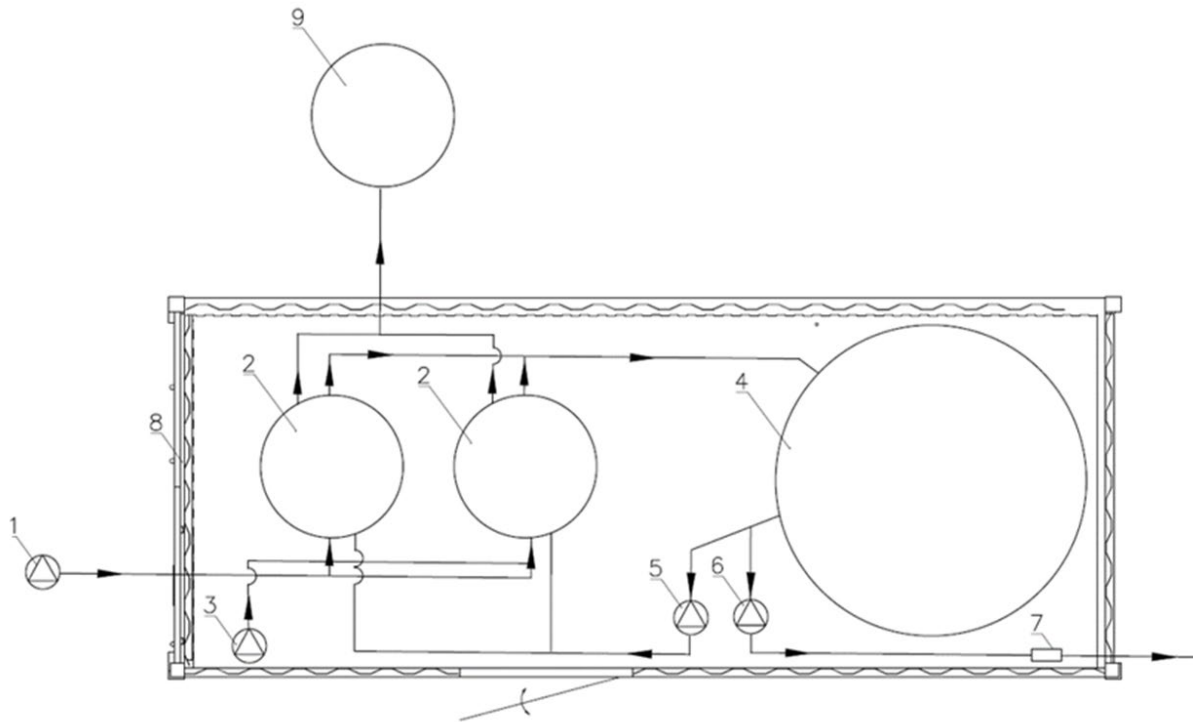
Аэрационные сооружения для обработки подземных вод в Витебской области

1.1 Контейнерная станция обезжелезивания с аэрационными эжекторами.



- 1- скважина
- 2- фильтр
- 3- эжектор
- 4- РЧВ
- 5- промывной насос
- 6- сетевой насос
- 7- прибор учета воды
- 8- контейнер
- 9- канализационный колодец

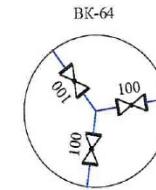
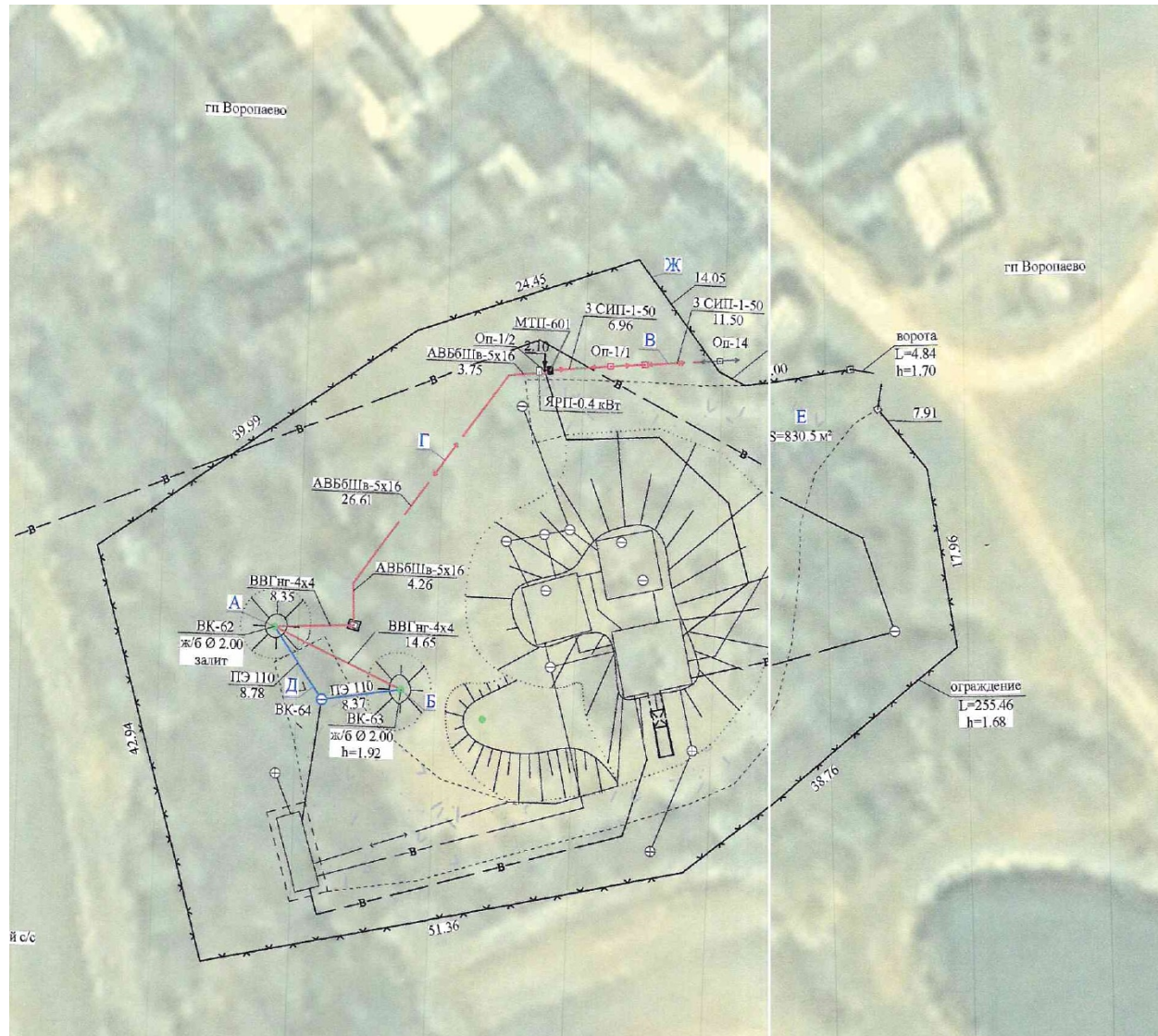
1.2 Контейнерная станция обезжелезивания с компрессорными установками



- 1- скважина
- 2- фильтр
- 3- компрессор
- 4- РЧВ
- 5- промывной насос
- 6- сетевой насос
- 7- прибор учета воды
- 8- контейнер
- 9- канализационный колодец

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.

Ситуационный план водозабора в н.п. Воропаево



ж/б Ø 1.50
залит

Литера:

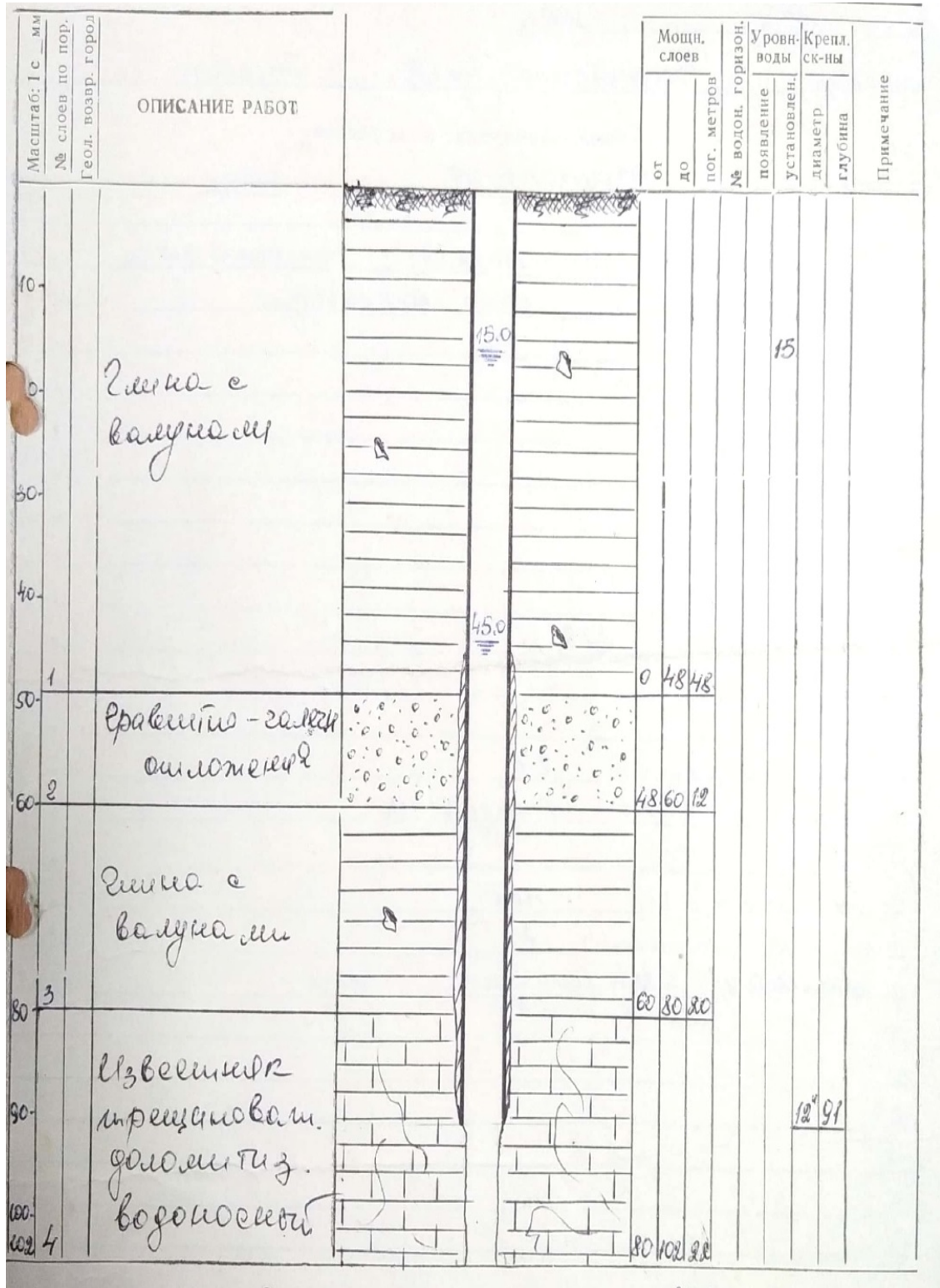
- А - артезианская скважина №07/2020
- Б - артезианская скважина №08/2020
- В - сети электроснабжения 10 кВ
- Г - сети электроснабжения 0.4 кВ
- Д - сети водоснабжения
- Е - площадка
- Ж - ограждение

Условные обозначения:

- покрытие щебеночное
- трубопровод водопровода подземный
- ВК-1 ⊕ - колодец на водопроводной сети
- 100 ⊗ - задвижка и её диаметр
- ограждение проволочное из проволочной сетки
- линия электропередачи высокого напряжения надземная
- линия электропередачи подземная
- опора ЛЭП высокого напряжения железобетонная
- ⊕ - геокод
- - скважина артезианская
- - электрошкаф
- - трансформаторы на столбах и постаментях
- ⊗ - ворота распашные

ПРИЛОЖЕНИЕ В.






Геологический разрез скважины №1 (старая)



Геологический разрез скважины №2 (новая)

№ слоев по порядку	Геологический индекс	Описание пород	Разрез	Мощность пласта			Уровень воды		Крепление скважины	
				от	до	всего	ст. м	длин. м	диам. мм	глуб. м
1	flprz	Песок		0	7,3	7,3	12	60	377	10
2	gllprz	Супесь		7,3	35,8	28,5			273	145,1
3	D2pr	Супеси суглинки глины		35,8	143	107,2	244	147,6		
4	D2pr	Глины		107	145,1	38,1				
5	D2vt	Доломит		145,1	147,6	2,5				

Геологический разрез скважины №3 (новая)

№ слоя по разрезу	Геологический символ	Описание пород	Разрез	Мощность пласта			Уровень воды		Крепление скважины	
				от	до	всего	ст. н.	дн. н.	длин. м	глуб. м
1	п/рз	Песок		0	7,3	7,3	12	377	10	
2	gllprz	Супесь		7,3	35,8	28,5				
3	D2pr	Супеси суглинки глины		35,8	14,3	107,2	60	273	145,1	
4	D2pr	Глина		107	14,3	121				
5	D2vt	Доломит		145,1	147,6	2,5	244	147,6		