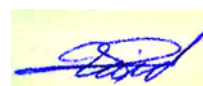


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*на правах рукописи*



Аль-Амри Заед Садик Абрахем

**ПОДГОТОВКА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ  
И ОПРЕСНЕННЫХ МОРСКИХ ВОД**

2.1.4 Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны  
водных ресурсов

**Диссертация**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор

Щербаков Владимир Иванович

Воронеж – 2023 г.

## Содержание

Введение .....	4
Глава 1. Анализ существующих подземных вод для применения в хозяйственно-питьевом водоснабжении .....	13
1.1. Существующие объемы вод в Ираке, качество подземных вод .....	13
1.2. Современные стандарты качества питьевой воды .....	25
1.3. Физико-химический состав природных вод .....	33
1.3.1. Высокоминерализованные воды, опреснённые методами термической дистилляции, электродиализа, ионного обмена, вымораживания и обратного осмоса .....	33
1.3.2. Некондиционные подземные воды, в условиях техногенной нагрузки на водоисточник .....	36
1.4. Физиолого-гигиенические исследования влияния недоброкачественных вод на организм человека .....	38
1.5. Корректировка физико-химического состава искусственных и подземных вод для питьевых целей .....	41
Выводы по главе 1 .....	47
Глава 2. Теоретические и технологические основы улучшения качества некондиционных вод для питьевого водоснабжения .....	49
2.1. Механизм массообмена гетерогенных процессов и условия его интенсификации (на примере кальцинации мягких питьевых вод) .....	53
2.2. Принципы кондиционирования воды из подземных источников для производства бутилированной воды питьевого качества .....	59
2.3. Рекомендации по внедрению методов кондиционирования опресненной воды для питьевых нужд .....	65
Выводы по главе 2 .....	73
Глава 3. Лабораторные и пилотные эксперименты определения технологических характеристик основных методов водоподготовки .....	75
3.1. Кондиционирование пермеата II-ой ступени опреснения морской воды на обратноосмотической установке .....	75

3.1.1. Методика проведения опытов .....	82
3.1.2. Полученные результаты работы .....	84
3.2. Интенсификация фильтрационной кальцинации мягких питьевых вод ..	96
3.3. Исследования по регулированию микрокомпонентного состава вод .....	99
3.3.1. Очистка питьевой воды от бора.....	99
3.3.2. Очистка питьевой воды от стронция фильтрационным методом с применением клиноптилолита в $\text{Na}^+$ -ионной форме.....	109
Выводы по главе 3.....	119
Глава 4. Рекомендации по внедрению методов кондиционирования опреснённой воды для питьевых нужд .....	121
4.1. Расчёт основных элементов установки приготовления питьевой воды.	121
4.2. Разработка контейнерной станции приготовления питьевой воды ..	138
Заключение .....	146
Приложения .....	148
Список литературы .....	153
Условные обозначения.....	163

## Введение

**Актуальность работы.** В настоящее время человечество сталкивается с трудностями, связанными с обеспечением организма достаточным количеством микроминералов, поступающих в значительной степени с питьевой водой. Чтобы справиться с этой проблемой, недостаточно просто убрать примеси из воды. В первую очередь, необходимо сбалансировать содержание микроминералов в питьевой воде, довести их содержание до значений, содержащихся в лучших с точки зрения качества воды природных источниках. Для поддержания здоровья человеческому организму требуется «живая» вода.

Для преодоления постоянно растущего спроса на пресную воду в связи с ростом населения и благосостояния первые опреснительные установки были установлены в конце 1950-х годов.

Поскольку стоимость энергии постепенно увеличивалась, определились два направления исследований, направленных на минимизацию общих затрат на очистку воды:

- Повышение энергоэффективности коммерческих технологий
- Изучение и предложение новых решений

Термин "опреснение" относится к технологическому процессу, используемому для извлечения пресной воды из солоноватой или соленой воды. Морская вода часто является источником сырой воды, используемой для этого процесса.

Представим некоторые статистические данные о текущих крупных опреснительных установках, установленных по всему миру.

Большинство опреснительных установок устанавливаются вдоль береговой линии, чтобы использовать море в качестве источника воды. Действительно, 60,8% установленных в мире мощностей используют море в качестве источника воды, в то время как солоноватая вода используется в 20,6% случаев.

Около 50% всех мировых сооружений по водоочистке и опреснению приходится на страны Ближнего Востока и Северной Африки. Остальные опреснительные установки распределяются следующим образом: 18% установок расположены в Восточной Азии и Тихоокеанском регионе, 12% в Северной Америке, 9% в Западной Европе, около 6% в Латинской Америке и Карибском бассейне, 3% в Южной Азии, 2,5% в Восточной Европе и Центральной Азии и около 2% в Африке к югу от Сахары. Основными секторами являются промышленность и муниципалитет.

Для большей части некрупных населенных пунктов практически во всех странах мира подземные воды являются основным водным ресурсом. Так, в России до 85% подземных вод используется в сельской местности. Только четверть сельских поселений страны оснащены центральным водопроводом. Зачастую в системах подачи и распределения воды отсутствует технологическое оборудование для повышения качества воды, а там, где оно есть, оборудование работает неэффективно. Большинство водопроводов (65-70%) нуждаются в реконструкции, а 10% требуют капитального ремонта или полного восстановления. Около 75% сельского населения используют воду, не отвечающую санитарным нормам и государственным стандартам.

Расположенный в бассейне рек Тигр и Евфрат Ирак переживает серьезный водный кризис. Сеть каналов и притоков этих двух рек очень быстро высыхает. Согласно индексу водного стресса Института мировых ресурсов, Ирак находится на уровне 3,7 баллов из 5 возможных (5 баллов означает наивысший уровень дефицита воды). К 2040 году этот показатель вырастет до 4,6, что приведет к таким последствиям, как полная засуха и токсичная окружающая среда.

Высокий спрос на водные ресурсы и продолжающееся снижение их количественных показателей привели к серьезным изменениям в гидрологическом состоянии Ирака за последние 30 лет. Снижение уровня поверхностных вод и осадков в течение этих трех десятилетий сказывается на

падении уровня водохранилищ, озер и рек. Уровень главных водных источников страны, рек Тигр и Евфрат, упал на треть от естественного уровня.

Для решения проблем, связанных с нехваткой надземных вод, государство столкнулось с необходимостью грамотного использования подземных вод. Гидрогеологические условия подземных водоносных горизонтов напрямую зависят от климатических факторов районов расположения этих горизонтов. Осадки являются основным источником пополнения подземных вод, которые влияют на другие метеорологические характеристики, такие как температура, относительная влажность, скорость и направление ветра. Согласно данным, самые высокие среднегодовые температуры наблюдаются на юге Ирака, достигая 24 градусов Цельсия и снижаясь к северу и западу до 20 градусов на далеком западе Ирака и до 18 градусов на далеком северо-востоке. В то время как годовые показатели относительной влажности колеблются от 35% на юге до 48% на севере [1].

Соответственно, подземные воды также ограничены количественно и нуждаются в особенной качественной очистке и кондиционировании, отличных от привычных способов очистки надземных вод.

Наблюдения, проведенные на реках Тигр и Евфрат, включающие изменения объемов воды, позволяют прогнозировать как уменьшение количества воды, так и полное истощение, и высыхание к 2040 году. Такое положение требует разработки мероприятий для предотвращения обмеления данных рек.

Экономика стран Ближнего Востока, уровень жизни населения, его занятость, здоровье людей напрямую связаны со средней долей воды, которую каждый человек получает в год.

В малых поселениях в Ираке после военных действий жители используют для хозяйственно-питьевых нужд подземные воды, которые не отвечают элементарным показателям по качеству. Население районов, где нет подземных водоисточников, вынуждены использовать бутилированную воду, качество которой также не соответствует нормативам.

По причине непокрытия большей части населенных пунктов системами центрального водопровода становится необходимым проектировка и сооружение небольших водоочистительных станций, которые смогли бы повысить качество воды, используемой в домохозяйствах.

### **Степень разработанности темы исследования.**

В связи с нарастающей актуальностью исследуемой темы в мире за последние годы сделаны значительные наработки в области очистки и кондиционирования воды. Над усовершенствованием технологий по очистке воды работали российские ученые: Вдовин А.А., Дзюбо В.В., Алексеев Л.С., Драгинский В.Л., Кульский Л.А., Дмитриев В.Д., Прохоров И.А., Рахманин Ю.А., Серпокрылов Н. С., Ивлева Г.А., Сколубович Ю.Л., Фесенко Л.Н. и др.

Значительный вклад в развитие теории фильтрования внес профессор М.Г. Журба, доказав, что для инженерного расчета различных по конструкции и назначению зернистых фильтров предпочтительно применение основ теории размерностей и предварительное проведение экспериментальных исследований.

Также обширное внимание исследованию технологий очистки вод уделяет Первов А.Г. В своих трудах он дает классификацию различных методов обработки воды в зависимости от типа природной воды и решаемой задачи по ее использованию.

На данный момент существует мало работ на тему очистки воды от стабильного стронция. Никашина В.А. и Зайцева Е.В. в своем исследовании доказали эффективность способа очистки воды от радиоактивного стронция в небольших системах водоснабжения на природном цеолите – клиноптилолите Холинского месторождения с помощью метода ионного обмена.

Способы очистки вод Ближнего Востока и, в частности, Ирака изучали также иностранные исследователи S. M. Zaidi, A. A. Abbas, F. M. Hassan, H. F. Najj, A. N. Al-Azawey, I. A. Razzak, A.H. Abobaidy.

**Цель работы** – исследование и разработка методов очистки природных вод с примесями естественного, промышленного, коммунального

происхождения и приведения их к требованиям централизованного водоснабжения. Для достижения этой цели решались **задачи**:

- проведение анализа физико-химического состава природных вод для питьевых целей;
- исследование применения методов опреснения: термической дистилляции, ионного обмена, электродиализа, вымораживания и обратного осмоса для вод с высокой минерализацией;
- применение принципов обработки грунтовых вод и выявление наиболее эффективных методов для изготовления питьевой воды с целью ее дальнейшего бутилирования и реализации;
- разработка механизма массообмена гетерогенного обогащения мягких питьевых вод кальцием;
- оценка наиболее известных и широко применяемых способов водоподготовки по критерию эффективности;
- изучение методов очистки воды от стронция и бора;
- разработка рекомендаций по реализации методов кондиционирования обессоленной воды для хозяйственно-питьевых целей.

**Объект исследования** - подземные и морские воды региона Персидского залива с использованием их для хозяйственно-питьевых нужд населения.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

- разработана новая экспериментальная методика обогащения гидрокарбонатом кальция мягких искусственных питьевых вод с помощью фильтрационной технологии, путем предварительной карбонизации фильтруемой воды диоксидом углерода;
- предложена экспериментальная методика, позволившая выявить качественно новые закономерности одновременного применения двух сильных кислот, что способствует интенсификации процесса кальцинации; наряду с этим, использование одной сильной кислоты с диоксидом углерода в равной степени усиливает процесс кальцинации;



- экспериментально доказано, что использование кальций-карбонатной загрузки и минеральной кислоты показало свою эффективность в процессе минерализации имитата пермеата 2-ой ступени очистки морской воды;

- введено новое понятие клиноптилолитной очистки воды от стронция цеолитсодержащим сорбентом.

### **Теоретическая значимость работы:**

- доказано, что способ обогащения гидрокарбонатом кальция мягких искусственных питьевых вод с помощью фильтрационной технологии, путем предварительной карбонизации фильтруемой воды диоксидом углерода, расширяет границы его применения;

- изложены доказательства зависимости остаточной концентрации жесткости и стронция в фильтрате от количества относительных объемов пропущенной воды к объему загрузки;

- раскрыты и выявлены несоответствия закономерности процесса удаления стронция из воды;

- проведена модернизация существующих моделей, в результате чего получены теоретические формулы и эмпирические уравнения, которые сопоставлялись с опытными данными других авторов.

### **Практическая значимость работы:**

- заключается в разработке и внедрению технологии обогащения воды кальцием и схем очистки некондиционных подземных вод от стронция, фторирования и приготовления бутилированных вод.

- разработан алгоритм и блок-схема процесса стабилизации очищенных природных морских или высококонцентрированных подземных вод;

- создана модель модульной контейнерной станции и определены сферы её применения для приготовления питьевой воды для малых населенных мест и промышленных предприятий;

- представлены предложения по дальнейшему совершенствованию малогабаритных контейнерных станций;

- полученные результаты разработки технологий подготовки питьевой воды для централизованного водоснабжения внедрены в учебный процесс.

#### **Методология и методы исследования:**

Теоретическая основа исследования заключается в обобщении результатов научных трудов отечественных и зарубежных авторов в области опреснения, очистки и кондиционирования воды. Эмпирическая база представлена наблюдением и различными описаниями.

Методическими основами являлись: теоретические положения аналитической химии, исследования физико-химических свойств природных растворов с использованием унифицированных методов микроскопии, вещественного, химического, качественного и количественного анализов.

Для проведения экспериментальных исследований и измерений в лабораторных условиях применялись стандартные методики измерений и современная аппаратура. Экспериментальные исследования проводились на пермеате 2ой ступени опреснения.

#### **Степень достоверности полученных результатов.**

- Теория построена на известных опубликованных данных по водоподготовке, очистке и опреснению воды для хозяйственно-питьевых целей;

- Достоверность оценена использованием экспериментальных натуральных методик исследований, которые выполнены с применением поверенных приборов.

- Установлено, что результаты экспериментальных и теоретических исследований показывают удовлетворительную сходимость.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

- результаты экспериментальных исследований на лабораторных и пилотных установках, взятые за основу для оценивания эффективности наиболее широко применяемых способов кондиционирования грунтовых вод, а также для выявления технологических показателей;

- результаты интенсификации механизма массообмена гетерогенных процессов кальцинации вод и их реализация при производстве бутилированной воды;

- результаты экспериментальных исследований на лабораторных установках по кальцинации питьевых вод, удалению бора и стронция;

- рекомендации по внедрению результатов исследований в технологических схемах сооружений обработки природных вод.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 5 статей в изданиях, включенных в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, доктора наук», учебно-методическое пособие.

**Личный вклад соискателя** состоит в непосредственном участии в постановке проблемы, научном обосновании, постановке и проведении исследований, обработке и анализе полученных результатов, разработке рекомендаций и их внедрении, подготовке публикаций по выполненной работе.

**Апробация работы.** Основные положения, изложенные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на научно-практических конференциях «Яковлевские чтения» (г. Москва, 2012, 2015, 2016, 2017, 2022 г.); «Техновод» (г. Сочи, 2014 г., 2021 г.); Международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте.» (г. Одесса. Украина, 2012 г.); научно-технической конференции (г. Бийск, 2012 г.); Международной научно-практической конференции «В. И. Вернадский: устойчивое развитие регионов» (г. Тамбов 2016); всероссийских научно-практических конференциях Воронежского ГАСУ (г. Воронеж. 2012-2017 г.).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы, включающего 105 источников, в том числе

12 иностранных. Работа изложена на 164 страницах машинописного текста, включает 23 таблицы и 23 рисунка.

**Область исследования** соответствует требованиям пункта 12 паспорта научной специальности 1.2.4 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» пункт 3 «Методы очистки природных и сточных вод, технологические схемы и конструкции используемых сооружений, установок, аппаратов и механизмов».

Автор выражает благодарность научному руководителю работы доктору технических наук Щербакову Владимиру Ивановичу, доктору технических наук Алексееву Леониду Сергеевичу, кандидату технических наук Ивлевой Галине Алексеевне за оказанную помощь и консультации по теме диссертационной работы.

## Глава 1. Анализ существующих подземных вод для применения в хозяйственно-питьевом водоснабжении

### 1.1. Существующие объемы вод в Ираке, качество подземных вод

Государства засушливого Ближнего Востока наиболее остро ощущают дефицит воды. Регион сталкивается с экстремальными гидрологическими проблемами, такими как крайне низкая естественная обеспеченность на душу населения и сильные гидрологические колебания. Но водный кризис на Ближнем Востоке - это не только гидрологический кризис, но и кризис национальных водных институтов и межгосударственных отношений. Поскольку большинство поверхностных, а также подземных водных ресурсов пересекают политические границы, вода также является проблемой ближневосточного конфликта и вопросом территориального контроля и политического доминирования. По настоящее время ведутся разговоры о том, в какой степени вода может быть причиной войны или средством сотрудничества в регионе.

По причине нехватки водных ресурсов в ближневосточном регионе увеличивается использование подземных вод, что, в свою очередь, ведет к обеднению водных ресурсов и в конечном итоге угрожает их абсолютным истощением.

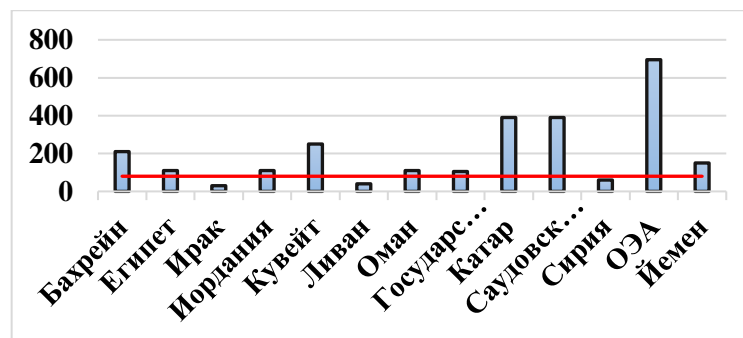


Рисунок 1.1 - Использование подземных вод, в %

На рисунке 1.1 представлен объем добычи подземных вод, где можно увидеть, что во всех странах, кроме Ливана, Сирии и Ирака забор воды превышает количество в возобновляемых ресурсах. Критичность добычи подземных вод возрастает с каждым годом.



Рисунок 1.2 Распределение грунтовых вод на территории Ирака по районам

На рисунке 1.2 показано, насколько неравномерно рассредоточены подземные воды на территории Ирака. Выделяют три основные области подземных вод по характеру их химического состава и физическим параметрам.

Спустя столетие существования Ирака в качестве современного государства его экологические проблемы угрожают самому его существованию. Экосистема страны находится на грани коллапса, а уровень стока воды в исторических реках составляет десятую часть от того, что было когда-то. В 1920 году расход воды в Ираке составлял 1350 м<sup>3</sup>/сек, сейчас - менее 150 м<sup>3</sup>/сек.

Приток воды быстро сократился после 2003 года, когда Турция и Иран начали лишать население Ирака воды. Власти намеренно осушают реки и притоки, впадающие в Ирак, чтобы монополизировать запасы воды и превратить их в политический инструмент.

Зеленые зоны сократились, пустыня расширилась, и в результате песчаные и пыльные бури стали еще более распространенными по всей стране. Сейчас они происходят примерно 220 дней в году, концентрация выпадающей пыли составляет около 80 мм/м<sup>2</sup> в месяц, в то время как дожди выпадают гораздо реже. По оценкам международных экологических обсерваторий, количество пыльных бурь достигнет 300 в год, поражая большинство районов Ирака. Это разрушительное явление угрожает положить конец сельскохозяйственной и социальной жизни в этих районах.

Министерство охраны окружающей среды подтверждает, что страна оказалась в эпицентре климатического кризиса, жестокие последствия которого приведут к разрушению окружающей среды Ирака, сделав ее непригодной для жизни в ближайшие десятилетия из-за чрезмерного повышения температуры, отсутствия осадков, нехватки запасов поверхностных и подземных вод, усиления засухи и увеличение количества пыльных бурь, опустынивания, эрозии почвы, потери биоразнообразия. В конечном итоге это приведет к сокращению сельскохозяйственных площадей и разрушению цепей продовольственной безопасности.

Ирак расходует более 63% своих водных ресурсов на сельское хозяйство, не восполняя внутренние потребности в сельскохозяйственных культурах, и часто зависит от импорта продовольствия. Это означает, что расходы воды не

соответствуют тому, что логично было бы считать высоким уровнем производительности. Сельскохозяйственные технологии в Ираке являются рудиментарными. Министерство сельского хозяйства и Министерство водных ресурсов не используют современные ирригационные технологии для содействия потреблению. В результате возникают значительные потери воды при слабом сельскохозяйственном производстве.

Сельское хозяйство составляет около 4% ВВП страны и обеспечивает около 20% преимущественно сельского рынка труда. Из-за воздействия изменения климата, нехватки воды и участвовавших вооруженных конфликтов сельскохозяйственное производство сократилось примерно на 40% с 2014 года. По данным Всемирного банка, до этого года две трети иракских фермеров имели доступ к источникам орошения, но в последующие три года этот показатель снизился до 20%. По оценкам правительства, изменение климата также привело к потере 75% поголовья скота, такого как овцы, козы и буйволы.

Помимо сельскохозяйственных потерь, Ирак ежегодно теряет около 14,7% своих запасов воды в результате испарения, что является очень высоким показателем по сравнению с другими странами. Озеро Тартар, крупнейший природный водоем в Ираке, теряет более 50% хранящейся в нем воды. Напротив, район Марш, крупнейший естественный водоем и водно-болотные угодья на Ближнем Востоке, теряет около 75 м<sup>3</sup> в секунду на испарение, по данным местной администрации района Сук аль-Шуюх в Южной Насирии, которая подсчитала потерю 4,5 млрд кубометров воды из-за испарения и глобального потепления только за лето 2017 года.

В ближайшие годы воздух в Ираке потеплеет на два градуса Цельсия, что выше, чем темпы глобального потепления, оцениваемые в 1,5°, согласно докладу, опубликованному Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК). Чрезмерно высокие температуры в Ираке, часто превышающие летом 53 градуса Цельсия (особенно в южных нефтедобывающих регионах), уничтожают урожай и буйволов, разрушают



экологическое разнообразие болот и повышают уровень токсичности питьевой воды. Риски для здоровья, связанные с загрязнением водных ресурсов, стали более очевидными в Ираке за последние десятилетия. Мухафаза Басра, включающая место слияния Евфрата и Тигра в Шатт-эль-Араб недалеко от города Басра, была «горячей точкой» проблем с качеством воды. Сочетание низкого речного стока, высокой солености и повышенного уровня сельскохозяйственного и промышленного загрязнения, а также сброс сточных вод в Басре неоднократно вызывало кризисное состояние здоровья населения в городе. Летом 2018 года более 100 000 жителей были госпитализированы с заболеваниями, связанными с качеством воды, что вызвало масштабные протесты против бесхозяйственного отношения к водным ресурсам в Басре. Кроме того, каждый год происходят тысячи пожаров - на данный момент в 2021 году зарегистрировано 14 715 пожаров.

Учитывая вышесказанное, широко признано, что в Ираке существует срочная необходимость в принятии мер по управлению качеством воды, особенно в отношении подземных вод. В настоящее время Ирак сталкивается с двумя типами проблем качества воды. Первая - это соленость, вторая - концентрация загрязняющих веществ в воде, вызванная муниципальной, промышленной и сельскохозяйственной деятельностью, в результате которой в пресноводные источники поступают возвратные стоки.

Развитие сельского хозяйства по всему водосборному бассейну Евфрата и Тигра, как внутри, так и за пределами Ирака, приводит к постепенному увеличению солености вод Евфрата, Тигра и других рек Ирака. Экономическое развитие и рост населения также способствуют увеличению нагрузки различных загрязняющих веществ. Ухудшение качества воды усугубляется засухами и является основным фактором, способствующим опустыниванию сельскохозяйственных земель.

Соленость рек Ирака увеличивается по мере продвижения воды на юг. Соленость вдоль Евфрата выше, чем вдоль Тигра и его притоков, из-за местных геологических особенностей, управления земельными ресурсами,

сельскохозяйственной ирригации и дренажа в водосборном бассейне Евфрата. Шатт-эль-Араб страдает от самой высокой солености из-за слияния рек и дренажных каналов с высокой соленостью, уменьшения объема стока воды и приливного влияния Персидского залива, которое воздействует на районы ниже Басры. Общее количество растворенных твердых веществ увеличивается почти в четыре раза вдоль Евфрата между Хусайбой и Насирией и почти в шесть раз вдоль Тигра между Мосульской плотиной и Курной, на основе среднемесячных данных о качестве воды, полученных от Министерства окружающей среды за период с 2014 по 2019 год.

Заболевания, передающиеся через воду, широко распространены из-за загрязненной питьевой воды. Отчеты Министерства окружающей среды за 2019 год показывают, что бактериологическое загрязнение водоснабжения в разных мухафазах варьируется от 2,5% до 30%, в среднем 16%, что превышает как Национальные стандарты питьевой воды Ирака, так и основные принципы Всемирной организации здравоохранения для питьевой воды. Данные о других загрязнителях, включая органические и неорганические вещества, патогены и бактерии, в Ираке ограничены, что затрудняет полную характеристику источников и степени загрязнения или прогноз изменений, которые могут произойти в будущем [2].

Помимо растворенных и взвешенных загрязняющих веществ, водные ресурсы в Ираке страдают от высокого уровня загрязнения твердыми отходами, включая бытовой и промышленный мусор, а также обломки разрушенных зданий в районах, пострадавших от недавних конфликтов.

Качество подземных вод различается по всей стране. Наиболее доступные, высокопродуктивные и качественные водоносные горизонты находятся на северо-востоке. В этой зоне выпадает много осадков, и концентрация общего количества растворенных твердых веществ в грунтовых водах, как правило, очень низкая. Соленость подземных вод увеличивается в центральных, топографически более низких районах. В засушливых и полузасушливых районах химический состав подземных вод в неглубокой

подповерхностной зоне зависит от качества подпитывающей воды и глубины залегания уровня грунтовых вод. Содержание натрия и хлоридов обычно увеличивается с глубиной, а в глубоко залегающих зонах преобладают натриевые, кальциевые и хлоридные рассолы. Эти вертикальные химические изменения в составе подземных вод сопровождаются общим увеличением солености в зависимости от глубины. Вдоль побережья Персидского залива высокий забор подземных вод привел к проникновению морской воды в водоносный горизонт, что еще больше увеличило соленость подземных вод.

Классы подземных вод в зонах верхнего пополнения обычно относятся к бикарбонатному типу вод с низкой соленостью, особенно на севере и северо-востоке Ирака и в западной и южной пустыне, при этом они не проникают и не движутся быстро к подповерхностному слою, чтобы изменить свое качество и увеличить соленость.

В Западной пустыне качество воды в целом соответствует бикарбонатно-хлоридному типу воды, но в середине этой пустыни - бикарбонатно-сульфатному типу воды, что является результатом ее взаимодействия с несущими породами в геологических формациях, аккумулирующих подземные воды. Подземные воды в части, прилегающей к иорданской границе, представляют собой сульфатные воды низкой солености, в то время как в северо-восточной части - хлоридные воды также низкой солености, а воды южной и юго-восточной частей - пресные и бикарбонатные. Грунтовые воды в районе Низкоскладчатой зоны и Предгорья относятся к бикарбонатно-сульфатному типу вод, что является результатом их взаимодействия с гипсовыми породами или богатыми гипсом пород в качестве связующего вещества, что приводит к ухудшению качества грунтовых вод. В целом, в Южной пустыне, центральном и южном регионе Аль-Джазира и полосе, прилегающей к иранской границе на востоке Ирака, подземные воды будут сульфатного типа, и это связано с наличием гипсовых пород в водоносных породах или породах, через которые подземные воды проходят во время своего вертикального или горизонтального движения. Более того, в узкой зоне

верхней части Аль-Джазиры будет хлоридно-сульфатный тип воды, а район Месопотамии представляет консолидацию солей, которые вымываются подземными водами в Ираке, во время их движения в направлении вниз по течению, и она часто содержит высокие концентрации хлоридного типа воды.

В таблице 1.1 представлено изменение структуры водопотребления Ирака по годам [3].

Таблица 1.1 Потребление воды в Ираке

Критерий/ год	2000	2005	2010	2015	2020
Общий объем потребления воды млрд. м <sup>3</sup> /год	66	77,6	89,2	100,8	112,4
Внутренний спрос млрд. м <sup>3</sup> /год	4,3	5,81	7,32	8,83	10,34
Промышленное потребление млрд. м <sup>3</sup> /год	9,7	13,48	17,26	21,04	24,82
Орошение, млрд. м <sup>3</sup> /год	52	58,31	64,62	70,93	77,24
Водообеспечение, м <sup>3</sup> /год на чел.	3100		2400		1900

Подземные воды Ирака можно подразделить на два вида: первый - возобновляемые источники подземных вод, находящиеся близко к поверхности земли, и пополняемые дождевыми водами или за счет фильтрации речных вод в небольших количествах, и второй - глубоко залегающие подземные воды, являющиеся практически не возобновляемыми вследствие существующего геологического строения земли.

Добыча воды из скважин и колодцев для хозяйственно-питьевых нужд, сельского хозяйства, орошения и других целей составляет до 2,4 млрд. м<sup>3</sup> в год (Таблица 1.2).

Таблица 1.2 — Запасы подземных вод в Ираке

Район	Площадь (км <sup>2</sup> )	Запасы существующие (млрд м <sup>3</sup> /год)	Запасы восполняемые (млрд м <sup>3</sup> /год)	Общие запасы (млрд м <sup>3</sup> /год)
Центральный и южный	38962	2,1	1,0	3,1
северный	22125	0,5	0,4	0,9
западный	168000	0,9	1,6	2,5

Итого	229087	3,5	3,0	6,5
-------	--------	-----	-----	-----

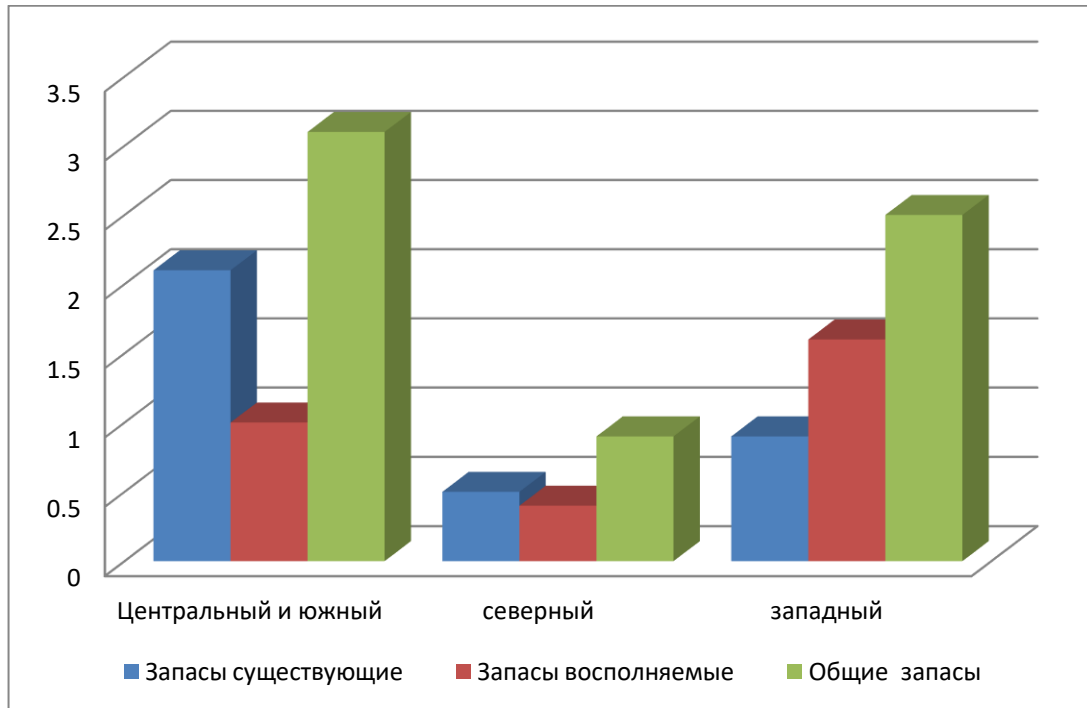


Рисунок 1.3 — Запасы подземных вод по регионам в Ираке

Южный Ирак является одним из районов, где водопотребление в основном основано на подземных водах, используемых в том числе и для целей сельского хозяйства, которое неуклонно увеличивает потребление воды (рисунок 1.3). Это приводит к снижению уровня подземных вод, а также изменению качества воды с продолжающимся увеличением забора воды на орошение. Недавние исследования показали общую тенденцию уменьшения запаса грунтовых вод за счет увеличения количества скважин, эксплуатируемых в регионе, увеличения забора подземных вод с более глубоких горизонтов, характеризующихся большим содержанием солей (таблица 1.3).

Таблица 1.3 — Химический анализ воды из скважин в Южном Ираке (мг/л)

	ЕС	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Sr	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	B
Max.	9.8	1569	156.8	65	211	360	1452	183	1845	78
Min.	4.7	419	14.3	12	38	240	653	36.6	625	20

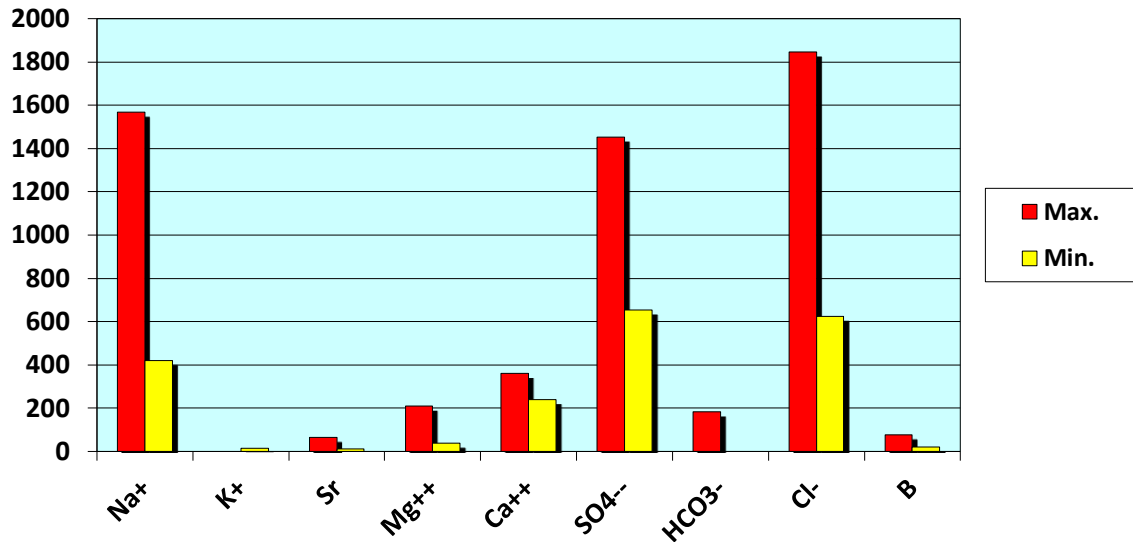


Рисунок 1.4 — Химический состав подземных вод в Южном Ираке

В таблице и на рисунке 1.4 показано содержание химических веществ в грунтовых водах Ирака относительно существующих нормативов. Особенно завышено содержание хлоридов, калия, натрия и сульфатов в центральных областях и на юге страны. Также на западе страны наблюдается превышение норм предельно допустимой концентрации.

Таблица 1.4 — Сопоставление параметров ПДК и фактического содержания веществ в Иракских грунтовых водах

Показатели	Максимальная концентрация (мг/дм <sup>3</sup> )					
	ВОЗ	РФ	Стандарт Ирака	Северный	Западный	Центральный и Южный
Калий K <sup>+</sup>	12	50	-	1.5	27.2	156.8
Натрий Na <sup>+</sup>	200	200	200	58	633	1569
Магний Mg <sup>2+</sup>	125	85	50	12	176	211
Кальций Ca <sup>2+</sup>	75	140	50	29	560	360
Хлориды Cl <sup>-</sup>	250	350	250	60	583	1845
Сульфаты SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250	500	250	60	1450	1452
Стронций Sr	-	7,0	-	-	46	65
Бор B	0,3	0,5	0,3	-	20	78

Не менее 5% или около полутора миллиона человек используют воду с значительными концентрациями хлоридов и сульфатов, что является

особенностью потребления воды в Центральном и Южном Ираке. Повышенные уровни содержания бора встречаются в грунтовых водах Центрального и Южного Ирака и, по-видимому, в основном обусловлены естественными процессами, такими как распад борных минералов в подстилающей породе [4].

Из таблицы также видно, что в водах Центрального и Южного Ирака наблюдается чрезмерно высокая концентрация кальция. Кальций естественным образом присутствует в воде. Он может растворяться в таких породах, как известняк, мрамор, кальцит, доломит, гипс, флюорит и апатит. Кальций является определяющим фактором жесткости воды, поскольку он содержится в воде в виде ионов  $\text{Ca}^{2+}$ . В результате высокого содержания кальция, выраженного в эквиваленте карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), образуется жесткая вода. Кальций также выполняет функцию стабилизатора pH благодаря своим буферным свойствам. Кальций также придает воде лучший вкус. В бытовом плане применение жесткой воды затрудняет образование пены при мытье и может вызывать образование накипи в бойлерах при испарении.

В дополнение к растворенным или взвешенным твердым веществам, обнаруженным в грунтовых водах, также присутствует множество живых организмов. Самые крупные из них - это беспозвоночные, которые видны невооруженным глазом, однако большинство из них микроскопического размера. Основные категории этих мелких организмов - это простейшие, бактерии и вирусы. Подземные воды могут содержать миллионы этих микробов. И хотя некоторые из них не влияют на человека, другие вредны для здоровья человека и известны как патогены.

Учитывая вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. Процент солености превышает допустимые пределы в водах многих подземных водоносных горизонтов в регионе Аль-Джазира, Западной и Южной пустыни, Среднего Евфрата и Восточного Ирака, за исключением северного и северо-восточного бассейнов Ирака. Однако некоторые

нелицензированные организации продолжают бурить скважины в этих водоносных горизонтах, не принимая во внимание рекомендации гидрологических исследований о прекращении бурения глубоких скважин, чтобы не допустить проникновения в водоносные горизонты соленой воды.

2. Грунтовые воды не пригодны для бытового использования в большинстве районов Ирака, за исключением севера и северо-востока.

3. Благодаря некоторым исследованиям качественных характеристик грунтовых вод и их химических свойств, существует возможность успешного создания небольших проектов по дистилляции воды для бытового использования в отдаленных районах.

4. Проблема ухудшения качества воды в регионе затмевается проблемами количества. Однако растущие уровни загрязнения и засоленности как поверхностных, так и подземных вод все больше влияют на способность использовать скудные водные ресурсы, имеющиеся в регионе, и усиливает напряженность между прибрежными странами. Кроме того, хотя природоохранные агентства рассматривают необходимость минимальных экологических потоков для поддержания экосистем, этот вопрос редко учитывается в национальном планировании управления водными ресурсами в регионе.

5. Соленость воды Евфрата считается неприемлемой для питьевых целей до того, как она попадает на территорию Ирака, в то время как вода Тигра становится неприемлемой по течению ниже Багдада.

6. Ухудшение качества воды в обеих реках связано с несколькими факторами, строительство плотин увеличило испарение из водохранилищ. Кроме того, поскольку все больше воды используется для ирригационных целей, возвращенная ирригационная вода просачивается обратно в ирригационную сеть при отсутствии дренажных систем. Более того, даже при наличии таких систем дренажные воды иногда сбрасываются непосредственно в реки, что приводит к увеличению солености. Этот процесс становится все более



интенсивным с повышением температуры и уменьшением количества осадков в результате изменения климата.

7. Другие источники ухудшения качества воды и загрязнения включают: сброс сточных вод в реки, сброс твердых отходов в реки, использование воды водохранилища Аль-Тартар для восполнения нехватки воды в бассейнах рек Евфрат и Тигр, загрязнение в результате военных конфликтов и увеличение потребления воды из-за высоких темпов роста населения.

8. Будущие перспективы более негативны для всех соседних стран. Это означает, что решение этих проблем требует реального и серьезного международного, регионального и национального сотрудничества для разработки разумного плана управления водными ресурсами двух бассейнов. Ирак, как наиболее пострадавшая страна, должен серьезно разработать разумный, научный и стратегический план по управлению и сохранению своих водных ресурсов [5,6].

## **1.2. Современные стандарты качества питьевой воды**

Вода играет важнейшую роль для жизни и здоровья, являясь одной из основных потребностей человека, которая необходима в самых разных сферах деятельности, особенно в домашнем хозяйстве. Безопасность и надежность питьевой воды имеют решающее значение, поскольку она оказывает влияние на здоровье населения и экономику государств.

К качеству питьевой воды применяются нормативы, принятые как на государственном, так и на международном уровнях. В каждой стране приняты стандарты качества питьевой воды. Они включают нижние и верхние пределы содержания различных ионов и элементов, присутствующих в воде. Кроме того, устанавливаются пределы, до которых допустимо содержание определенных загрязняющих веществ, влияющих на такие характеристики, как мутность, запах, цвет и другие.

Такие стандарты являются совокупностью микробиологического и химического составов и органолептических свойств, не наносящих вред здоровью человека. В соответствии с законами РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», «Основами законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан» и другими нормативными документами о санитарно-эпидемиологическом благополучии разработан и утвержден новый нормативный документ. Его структура сохраняет преемственность по отношению к ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая». Однако новые положения документа приближены к рекомендациям, а также к новейшим исследовательским данным о воздействии питьевой воды на состояние здоровья человека и отражают снижение уровня качества воды подземных водоисточников во всем мире и несоответствие применяемых технологий водоочистки уровню загрязнений по качественным и количественным характеристикам [7-9].

Питьевая вода должна быть безопасна в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства. Безопасность питьевой воды в эпидемиологическом отношении определяется ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим<sup>3</sup> показателям. Однако зачастую это важнейшее вещество не отвечает общепринятым критериям безопасности.

При химическом анализе питьевой воды СанПин рекомендует руководствоваться обобщенными критериями. Выбор показателей зависит от объекта исследований - источник, обработанная вода или вода распределительной сети [10, 11].

Качество питьевой воды определяется нормативами содержания химических веществ, встречающихся в природных водах, а также веществ антропогенного происхождения. Кроме того, введены нормативы вредных химических веществ, поступающих в питьевую воду в процессе ее обработки в системе водоснабжения.

Приоритетными показателями при оценке качества водопроводной воды являются вещества 1 и 2 классов опасности и показатели состояния ветхости сетей, отражающие вторичное загрязнение воды при доставке потребителю.

При определении в питьевой воде химических веществ адекватного действия, относящихся к 1 и 2 классам опасности и нормируемых по санитарно-токсикологическому признаку вредности, сумма отношений концентраций каждого из них в воде к величине ПДК не должна быть больше 1:

$$\frac{C_{\text{Ф}}^1}{C_{\text{Д}}^1} + \frac{C_{\text{Ф}}^2}{C_{\text{Д}}^2} + \dots + \frac{C_{\text{Ф}}^n}{C_{\text{Д}}^n} \leq 1, \quad (1.1)$$

где  $C_{\text{Ф}}^1, C_{\text{Ф}}^2, C_{\text{Ф}}^n$  - фактические концентрации веществ 1, 2 классов опасности;

$C_{\text{Д}}^1, C_{\text{Д}}^2, C_{\text{Д}}^n$  - допустимые концентрации веществ 1, 2 классов опасности.

Полный анализ питьевой воды показывает содержание и тех веществ, присутствие которых не оказывает вредного воздействия на качество воды. При обнаружении веществ, не имеющих отечественного норматива, предлагается временно использовать рекомендации ВОЗ.

В таблице 1 Приложения приведены нормативы качества воды для питьевых целей Ирака, ЕЭС, рекомендаций ВОЗ в сравнении с СанПиН 2.1.4.1074-01 по органолептическим, физико-химическим и обобщенным показателям.

Видно, что наиболее ужесточенные требования к качеству питьевой воды регламентируют стандарты стран ЕЭС.

Соответственно стандартам ЕЭС содержание хлоридов в питьевой воде ограничено 200 мг/дм<sup>3</sup> (максимум), предпочтительное содержание  $\text{Cl}^-$  по рекомендациям ВОЗ 250 мг/дм<sup>3</sup> и по сравнению с СанПиН - 350 мг/дм<sup>3</sup>. Также ужесточены регламенты по предельно допустимым концентрациям  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  и др. лимитирующим компонентам. Величина перманганатной окисляемости не должна превышать 5 мг  $\text{O}_2$ /дм<sup>3</sup> (ЕЭС), а оптимальная сумма органических загрязнений по величине ПО равна 1 мг  $\text{O}_2$ /дм<sup>3</sup>. Уровень норматива по перманганатной окисляемости (СанПиН) принимается в

соответствии с требованиями ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора» в зависимости от класса водоисточника: 5 мг  $O_2/дм^3$  для II и III классов, 2 мг  $O_2/дм^3$  для I-го класса. Оптимальная цветность по стандартам ЕЭС составляет 5 градусов по сравнению с нормативами ВОЗ (15 градусов) и СанПиН - 20 градусов Pt/Co шкалы.

В настоящее время Техническим комитетом по стандартизации ТК 343 разработан проект ГОСТ Р «Требования и контроль качества воды централизованных систем водоснабжения», что соответствует Федеральному закону «О питьевой воде», Закону РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», Закону «О защите прав потребителей», а также указанных выше.

В проекте ГОСТ Р качество питьевой воды регламентируется двумя уровнями показателей:

- первый уровень – предельно-допустимые нормы в соответствии с СанПиНом 2.1.4.1074-01, которые возможно обеспечить современной технологией водоподготовки для получения физиологически полноценной питьевой воды;

- второй уровень – ориентирующие нормативы, установленные в соответствии с рекомендациями ВОЗ и директивой ЕЭС для повышения гарантии безвредности и безопасности питьевой воды.

В настоящее время эти нормативы (таблица 1 Приложения) должны быть приняты за основу при проектировании новых и реконструкции старых систем водоснабжения.

Ужесточение требований к качеству питьевой воды согласно Проекту ГОСТ Р для второго уровня по сравнению с нормативами СанПиН 2.1.4.1074-01, в частности, предусматривается по следующим показателям:

- органолептическим: мутности, предельно допустимой до 1 мг/дм<sup>3</sup>;

- токсикологическим: снижение допустимых концентраций, в % при предлагаемых ПДК, указанных в скобках: алюминий А1 на 60% (0,2 мг / дм<sup>3</sup>);

бор В - 40% (0,3 мг/дм<sup>3</sup>); молибден Мо - 72% (0,07 мг/дм<sup>3</sup>); мышьяк As - 80% (0,01 мг/дм<sup>3</sup>); никель Ni - 80% (0,02 мг/дм<sup>3</sup>); свинец Рв - 67% (0,01 мг/дм<sup>3</sup>);

- солевому составу и веществам, влияющим на органолептические свойства питьевой воды: введен нижний предел общей жесткости воды, равный 1,5 мг – экв/ дм<sup>3</sup>; ПАВ - на 60% (0,2 мг/дм<sup>3</sup>); железо Fe<sub>общ</sub> - 83% (0,05 мг/дм<sup>3</sup>); цинк Zn - 40% (3 мг/дм<sup>3</sup>); нитраты – 44,4% (25 мг/дм<sup>3</sup>); нитриты – 96,7% (0,1 мг/дм<sup>3</sup>).

Следует отметить снижение максимальных концентраций хлоридов и сульфатов с 350 до менее 250 мг/дм<sup>3</sup> и с 500 до менее 250 мг/дм<sup>3</sup> соответственно и общего солесодержания с 1000 до 500 мг/дм<sup>3</sup>. Кроме того, токсичные органические микрозагрязнения как линдан, ДДТ, 2,4-Д, бензол, бензапирен в питьевой воде должны отсутствовать.

Поверхностное натяжение воды из водопровода составляет около 75 дин/см, а клетка способна поглощать воду с поверхностным натяжением объемом 43-45 дин/см, что близко к биологически оптимальному поверхностному натяжению пищеварительной жидкости и крови.

Для бутилированной питьевой воды научно обоснованы нормы ее качества, представленные в СанПиН [15]. В обосновании гигиенических требований к качеству расфасованной воды, а также дополнительных медико-биологических требований рекомендуются две ее категории:

- первая категория. Вода питьевого качества из поверхностных или подземных источников, соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01, сохраняя высокие питьевые свойства;

- вторая (высшая) категория. При сохранении всех критериев для воды первой категории питьевая вода высшей категории должна удовлетворять физиологическим потребностям человека по содержанию основных биологически необходимых макро- и микроэлементов и более жестким нормативам по ряду органолептических, физико-химических показателей и химическому составу. Источниками сырья для бутилированной воды премиум класса могут быть только артезианские скважины большой глубины,

расположенные далеко от поверхностных вод. Это является характерным отличием бутилированной воды высшей категории. Это связано с тем, что только 1% надземных источников соответствует требованиям, в соответствии с которыми разработаны классические технологии подготовки воды;

- высшая категория для детей. При сохранении всех критериев высшей категории питьевая вода для детей имеет более жесткие требования к содержанию ряда показателей и запрет производить ее в газированном виде.

Принципиальное отличие между категориями бутилированной воды в том, что нормы для первой категории определяют предельно допустимую концентрацию микроэлементов, а к воде высшей категории требования жестче – там устанавливается оптимальная концентрация веществ [16].

СанПиН 2.1.4.1116-02 имеют еще более жесткие гигиенические требования по следующим показателям качества воды высшей категории:

- органолептическим – например, мутность предельно до 0,5 ЕМФ или 0,3 мг/дм<sup>3</sup>;

- токсикологическим - снижение допустимых концентраций в % ПДК, указанных в скобках: алюминий А1 на 50% (0,1 мг/дм<sup>3</sup>); мышьяк As - 40% (0,006 мг/дм<sup>3</sup>); ртуть Hg - 60% (0,0002 мг/дм<sup>3</sup>); свинец Pb - 50% (0,005 мг/дм<sup>3</sup>); хром Cr - 40% (0,03 мг/дм<sup>3</sup>);

-некоторые микроэлементы, биогенные и органические вещества: нефтепродукты на 90 % (0,01 мг/дм<sup>3</sup>); ПАВ - 75% (0,05 мг/дм<sup>3</sup>); марганец Mn - 50% (0,05 мг/дм<sup>3</sup>); нитраты - 80% (5 мг/дм<sup>3</sup>); нитриты - 95% (0,005 мг/дм<sup>3</sup>).

Однако споры по "оптимальному" составу бутилированной воды продолжаются.

Требуется, чтобы бутилированная вода благоприятно воздействовала на здоровье человека. Для этого ее нужно обогащать полезными микро- и макроэлементами – катионами магния и калия, хлоридами, сульфатами и пр. – всего около 50 параметров.

Известно, что в последнее время в научно-исследовательских институтах (НИИ ЭЧ и ГОС им. А.Н. Сысина, акад. Ю.А. Рахманина) и ряде новых

санитарно-гигиенических и медицинских организациях (проф. Скальный А.В.) проводятся работы по обоснованию минимальных и оптимальных норм эссенциальных (необходимых организму человека) элементов (селен, марганец, железо, хром и др.) [17,18].

Однако, как следует из таблицы 1 Приложения, проект ГОСТ Р для питьевой воды регламентирует пока предельно допустимые уровни эссенциальных элементов, которые могут быть приняты в основу разработки технологии кондиционирования воды.

Критерии и параметры кондиционированной питьевой воды определены в СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода отличается по вкусовому параметру и воздействием на организм человека.

Критерий качества кондиционированной питьевой воды определяет природные элементы или соединения, положительно воздействующие на организм человека. Более ранний ГОСТ 2874-82 определяет отметку показателя «не более».

В таблице 1.5 ниже представлены жизненно важные для человеческого здоровья показатели в кондиционированной питьевой воде:

Таблица 1.5 – показатели в кондиционированной питьевой воде

<b>Параметры</b>	<b>Численный показатель</b>
Общая минерализация	100-1000 мг/дм <sup>3</sup>
Жесткость	1,5-7,0 мг-экв/дм <sup>3</sup>
Щелочность	0,5-6,5 мг-экв/дм <sup>3</sup>
Ионы Na <sup>+</sup>	20-200 мг/дм <sup>3</sup>
Ионы K <sup>+</sup>	2-20 мг/дм <sup>3</sup>
Ионы Mg <sup>+</sup>	5-50 мг/дм <sup>3</sup>
Ионы Ca <sup>+</sup>	25- 130 мг/дм <sup>3</sup>
Гидрокарбонаты HCO <sub>3</sub>	30-400 мг/дм <sup>3</sup>
Ионы F	0,5-1,5 мг/дм <sup>3</sup>
Ионы I	0,01-0,125 мг/дм <sup>3</sup>
pH	6,5-8,5

Немаловажным является содержание растворенного в воде кислорода при нормальных условиях:

- для первой категории качества - 5 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;

- для высшей категории качества воды - 9 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Критерий стабильности качества питьевой воды зависит от ее температуры, рН, щелочности, содержания кальция, общего солесодержания, наличия растворенного диоксида углерода и соотношения отдельных солевых компонентов. Критерий физиологической полноценности питьевой воды основывается на санитарно-гигиенических нормах, установленных клиническими и физиологическими исследованиями [19, 20].

Принятый в ряде государств СНГ в 2007 г. закон «О безопасности пищевой продукции» регламентирует требования и меры, которые следует принимать, чтобы гарантировать безопасность продуктов продовольствия, а также вопросы государственного регулирования в этой области. Согласно этому документу:

- «питьевая вода должна соответствовать требованиям, установленным законодательством» РФ о безопасности пищевой продукции;

- технические требования к очистным сооружениям предписываются государством на основании закона о «санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»;

- государственные органы утверждают площадки для установки очистных сооружений, резервуары и водонапорные башни и другое оборудование на основании закона о «санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»;

- применение минеральных природных вод разрешается исключительно после заключения научно-исследовательских бальнеологических центров по требованиям, определяемым уполномоченным органом здравоохранения.

Влияние физиологически полноценной бутилированной питьевой воды на здоровье человека кратко можно описать следующими тезисами [21-25]:

а) снятие усталости и утомляемости организма человека при повышенных нагрузках;

б) улучшение работы систем дыхания, кровообращения, пищеварения;

в) утоление жажды при высоких температурах окружающей среды.



### 1.3. Физико-химический состав природных вод

#### 1.3.1. Высокоминерализованные воды, опреснённые методами термической дистилляции, электродиализа, ионного обмена, вымораживания и обратного осмоса

Опреснение - это метод, при котором из морской или солоноватой воды удаляется избыток солей, и она превращается в безопасную питьевую или пригодную для использования в хозяйственных нуждах воду. Существует множество методов и способов, которые могут быть использованы для опреснения воды и эффективного удаления загрязняющих веществ. Основные методы опреснения, или удаления солей из воды, включают термические процессы, такие как дистилляция, и мембранные процессы, такие как обратный осмос и электродиализ. Рассмотрим более подробно каждый из методов.

При *дистилляции* обессоленная вода получается путем конденсации пара. Качество дистиллята практически не зависит от солевого состава исходной минерализованной воды и характеризуется низким солесодержанием (20 - 30 мг/дм<sup>3</sup>), слабокислым рН (6 - 6,3) и содержанием СО<sub>2</sub>, не превышающим расчетное его значение (1 мг/дм<sup>3</sup>), отвечающее парциальному давлению углекислого газа в воздухе. Диоксид углерода в дистилляте присутствует в агрессивной форме.

Появление в дистилляте примесей обуславливается негерметичностью теплообменного оборудования, особенно на участке регенеративного подогрева солёной воды и несовершенством сепарационных устройств в выпарных аппаратах [26].

Дистиллированная вода в пробах непосредственно из опреснителей практически свободна от бактерий. Однако в дальнейшем в ней отмечается их интенсивный рост. Для процесса дистилляционного опреснения характерна значительная барьерная роль в отношении ряда органических загрязнений. Окисляемость дистиллята понижается по сравнению с исходной водой в 3 - 4 раза в зависимости от её качества. Одновременное понижение окисляемости

рассола опреснительных установок свидетельствует о том, что значительная часть органических веществ при дистилляции окисляется, либо улетучивается в виде газов. Содержание поверхностно-активных веществ в воде при дистилляционном опреснении понижается в 2 раза. Содержание нефтепродуктов в процессе дистилляции снижается на 80%. Несмотря на то, что содержание нормируемых органических веществ в дистилляте находится в пределах ПДК, сумма их, выраженная в долях ПДК > 1. Следовательно, улучшение качества опреснённых дистилляцией вод должно заключаться в их минерализации, кальцинации, фторировании, стабилизации, очистке от органических примесей и обеззараживании, а также охлаждении.

Сущность *электродиализного* опреснения заключается в том, что в электрическом поле, создаваемом при пропуске постоянного тока через слой воды, разделённой на отсеки, с помощью катодной и анодной диафрагм, происходит перенос ионов солей, причём катионы движутся к катоду, а анионы – к аноду. Задаваясь различной кратностью деминерализации исходной воды, с помощью электролиза можно получить воду с требуемым уровнем солесодержания и жёсткости. Однако при опреснении морских и океанских вод установлено аномальное поведение ионов брома, бора и фтора – они удаляются из обрабатываемой воды значительно хуже других ионов, по-видимому, вследствие присутствия их в малодислоцированных формах. Соблюдение ПДК этих элементов (бром – 0,2, фтор –  $0,7 \div 1,5$  и бор –  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ ) и вызывает необходимость в увеличении кратности деминерализации, что, в свою очередь, обуславливает необходимость восстановления солевого состава и стабилизации опреснённой воды [27, 28].

*Ионный обмен* основывается на фильтровании воды через два вида ионообменных смол. Первый из них работает по циклу Н-катионирования и служит для извлечения из воды катионов, а второй предназначен для удаления из воды анионов. В промежутке между фильтрами удаляется из воды  $\text{CO}_2$ , который образуется в обессоленной воде за счёт распада гидрокарбонатов при

Н-катионировании, а также при фильтровании воды через анионитовые фильтры в случае регенерации их кальцинированной содой. В хроническом эксперименте на животных в «НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина РАМАН» доказана безвредность воды, обработанной ионообменным способом. При ионообменном опреснении вода не нуждается в дополнительной минерализации, но в её составе преобладают ионы натрия и хлора.

Опреснение *вымораживанием* заключается в том, что при охлаждении воды из неё в первую очередь выделяются кристаллы льда, практически свободные от солей. Причём, переход при льдообразовании гидрокарбоната кальция в труднорастворимую форму  $\text{CaCO}_3$  сопровождается выделением в атмосферу углекислого газа. Вымораживающий метод позволяет получать опреснённую воду любого уровня минерализации в зависимости от степени отмытки льда. Он не требует коррекции температуры опреснённой воды. Несмотря на возможный высокий эффект по очистке воды от микроорганизмов, характерной особенностью этого метода является практическое отсутствие бактерицидных и вирулицидных эффектов.

При производстве бутилированной воды из талой используют технологию очистки, в ходе которой применяют механические фильтры, полностью удаляющие вредные примеси, включения и другие образования. Фильтрат попадает на специальные сорбционные фильтры, которые помогают удалить из него железо и другие тонкие взвеси. Таким образом, достигается высокий уровень эффективности очистки. В дальнейшем, вода обеззараживается при помощи УФ-установок методом бактерицидного облучения.

Физический процесс, который очищает воду через систему фильтров и мембран, использующих давление для выравнивания концентрации в ущерб молекулам примесей, носит название *гиперфильтрации, или обратного осмоса* [29]. Частицы воды и примесей отделяются друг от друга и делятся на воду осмоса и сточные воды. Это происходит путем обращения вспять

естественного осмотического стремления к выравниванию концентраций. Состав продуцируемого в установках обратного осмоса пермеата подвержен изменениям в зависимости от технологических особенностей процесса опреснения. В диапазоне рН минерализованной воды от 4,5 до 6 через целлюлозные триацетатные мембраны проходит в пермеат меньше гидрокарбонатов, чем через полиамидные. При рН = 6,5 через обе мембраны проходит одинаковое количество гидрокарбонатов - около 12% от их исходного содержания. Далее меньшая проницаемость по гидрокарбонатам уже у полиамидных мембран, которые при рН = 7,5 не пропускают 98% от их исходной концентрации. В то же время полупроницаемые мембраны не имеют барьерных функций в отношении диоксида углерода, который из минерализованной воды целиком передавливается в пермеат, сообщая ему агрессивные свойства. Тому же содействует и способность полупроницаемых мембран отклонять двухвалентные ионы. Пермеат нуждается не только в стабилизационной обработке, но и в обогащении солями жесткости и фтора [30, 31].

Умягченная катионированием вода может содержать избыточный натрий. Так, широкое распространение домашних умягчителей воды с катионитом в Na-форме среди жителей штата Северная Дакота (США) привело к тому, что лишь 8% расхода питьевой воды по содержанию натрия удовлетворяло нормам для лиц с болезнями сердца и почек ( $< 20 \text{ мг/дм}^3$ ) и 46% имело избыточный натрий ( $> 200 \text{ мг/дм}^3$ ). Подсчитано, что на каждые  $17,1 \text{ мг/дм}^3$  снятой жесткости в питьевую воду вносится  $8 \text{ мг/дм}^3$  натрия.

### **1.3.2. Некондиционные подземные воды, в условиях техногенной нагрузки на водоисточник**

В общем балансе коммунального и сельскохозяйственного водоснабжения РФ подземные воды составляют около 57%. С точки зрения использования подземных вод для питьевого водоснабжения и наличия в них

загрязнений природного происхождения на территории России могут быть выделены три группы районов:

а) районы, в гидрогеологическом разрезе которых доминируют водоносные горизонты пресных подземных вод с качеством, по макро- и микрокомпонентному составу полностью отвечающим нормативным требованиям к питьевой воде. Это – большая часть территории;

б) районы, где концентрации каких-либо микрокомпонентов в пресных подземных водах отдельных водоносных горизонтов превышают установленные нормы. На территории РФ имеется ряд регионов, характеризующихся повышенным содержанием таких лимитируемых элементов как фтор, железо, марганец, стронций стабильный, селен, мышьяк и бериллий. Наиболее часто встречаются железосодержащие воды (главным образом, грунтовые воды первого от поверхности земли водоносного горизонта в гумидной зоне) и фторсодержащие воды (отдельные водоносные горизонты центральных районов Поволжья, Предкавказья, юга Западной Сибири, Забайкалья, Приморья, Подмосковья).

В настоящее время разработаны и широко используются различные методы водоочистки и кондиционирования воды, позволяющие эффективно удалять из воды отдельные элементы (фтор, железо и пр.) и доводить химический состав воды до приемлемого уровня. По этой причине, описанная выше проблема не сдерживает применение таких вод. Поскольку содержание этих компонентов и промышленная разработка технологий по ряду лимитирующих ингредиентов неизменны, экономически более выгодна подготовка грунтовых вод, чем очистка надземных.

в) районы, в которых отсутствуют пресные грунтовые воды, где распространены подземные воды повышенной минерализации с высоким содержанием хлоридов, сульфатов, солей жесткости (Прикаспий, отдельные районы Западной Сибири и др.). Использование таких вод возможно после соответствующей водоподготовки, которая в большинстве случаев сложна и дорога. Около 5% населения как европейских, так и азиатских территорий РФ

добывают воду для питья из высокоминерализованных артезианских скважин, чья концентрация сульфатов и хлоридов превышает ПДК.

Основной причиной антропогенного загрязнения водоисточников является загрязнение подземных вод, которое происходит в результате техногенного влияния промышленных и коммунальных объектов. По отчётным данным, всего на территории РФ выявлено более 1000 очагов загрязнения подземных вод. Преобладающая часть очагов загрязнения по субъектам РФ расположена в Европейской части.

Итак, научные исследования устанавливают микробное загрязнение ряда водоисточников подземных вод не только в Ираке, но и в Центральных районах Европейской части РФ, в Алтайском и Красноярском краях. В отдельных районах РФ и Ирака население потребляет для хозяйственно-питьевых нужд подземную воду, загрязненную нефтепродуктами, СПАВ, фенолами, солями тяжелых металлов. Помимо этого, зачастую в воде выявляют высокое содержание природных элементов, которые с большим трудом поддаются удалению привычными водоочистительными методами [32, 33].

#### **1.4. Физиолого-гигиенические исследования влияния недоброкачественных вод на организм человека**

Несбалансированность элементов (как повышенное, так и пониженное их содержание в рационе человека) опасна для здоровья. Наиболее частыми заболеваниями, возникающими вследствие пониженного содержания микроэлементов в питьевой воде, являются кариес (низкое содержание фтора), эндемический зоб (низкое содержание йода), железодефицитные анемии (низкое содержание железа и меди). По данным Центра биотической медицины, полученным в результате обследования 30 тысяч жителей Российской Федерации, дефицит магния, цинка и железа обнаруживается у большинства детей, подростков и пожилых людей. Самая значительная

нехватка селена отмечается в возрасте 45 - 55 лет и после 70. Возможно, что этот феномен - одна из причин повышенной заболеваемости и смертности граждан РФ указанных возрастных групп [34].

Макрокомпонентный состав воды отрицательно влияет на человеческий организм. Особенно критичным является низкое содержание кальция и магния в питьевой воде. Исследования в районах с самой жесткой и с самой мягкой питьевой водой показали достаточно низкую смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в городах с жесткой водой, в то время как в городах с мягкой водой зафиксирована повышенная смертность. Жители городов с жесткой водой отличаются более здоровой работой сердечно-сосудистой системы: имеют более низкое общее кровяное давление, более низкую частоту сокращений сердца в состоянии покоя, более низкий уровень холестерина в крови. Так, например, согласно исследованиям, проведенным в Финляндии, в восточной части Финляндии отмечается более высокая смертность от сердечно-сосудистых заболеваний, распространена гипертония и высокое содержание холестерина в крови по сравнению с западной частью страны. Эти факты также объясняются употреблением в регионе мягкой воды, поскольку другие критерии жизнедеятельности населения этих районов (физическая нагрузка, рацион и пр.) практически не различаются.

В последнее время установлено, что по количеству Ca и Mg в суточном рационе человека можно оценить содержание этих катионов в воде. Недостаток Ca в воде сказывается на увеличении всасывания и токсического действия тяжелых металлов (Cd, Hg, Pb, Al и др.), замещающих ионы Ca в важнейших регуляторных белках, нарушая таким образом их нормальную работу. Таким образом, мягкая питьевая вода с низким содержанием кальция и магния (как природная, так и произведенная в опреснительных станциях) представляет собой фактор риска развития заболеваний сердечно-сосудистой системы, а также других локальных заболеваний, обусловленных низким содержанием в воде региона данных веществ [35-37].

В ходе анализа биологически активных элементов, содержащихся в воде, нужно брать в расчет форму их нахождения в растворе. Например, фтор в ионном виде является токсичным для человека при концентрациях более 1,5 мг/дм<sup>3</sup>, но в виде комплексного соединения  $\text{BF}_4^-$  он уже не токсичен. Установлено, что значительное количество, фторированное в организм человека в виде комплексного соединения, исключает опасность заболевания человека флюорозом, так как это соединение не усваивается организмом. Оптимальные концентрации фтора в воде в виде комплексных соединений, а особенно ион  $\text{F}^-$ , положительно воздействуют на человека в определенных концентрациях.

Обратноосмотические мембраны - самые избирательные на данный момент фильтры, так как они производятся из нитрата целлюлозы и имеют очень мелкие поры. Пермеат, полученный при помощи обратноосмотических систем, наиболее приближен к дистиллированной воде по своим свойствам. До 99% элементов задерживаются при очистке. Исключение составляют растворенные газообразные вещества и некоторые минеральные соли, способные проходить сквозь мембраны. Таким образом, после обработки воды в ней отсутствуют важные для организма элементы: кальций, магний, калий, литий, серебро, фтор, йод и другие. Обратноосмотические системы очищают воду до уровня, соответствующего требованиям СанПиН «Питьевая вода» и европейским стандартам качества для питьевого водопользования (после дополнительного кондиционирования), а также всем требованиям для использования в коммунально-бытовом хозяйстве [38].

Вода очень хорошо растворяет полезные для организма соли. Также, обессоленная вода способна вымывать соли из организма. Следует отметить, что 2-3 дм<sup>3</sup> воды, полученной при помощи обратноосмотического фильтра, значительно не повлияют на солевой баланс в организме. Однако, в случае длительного употребления дистиллированной воды в организме нарушается осмотическое давление в клетках и тканях. Это ведет к нарушению водно-солевого баланса и изменениям в тканях. По этой причине лекарства,



предназначенные для введения в кровь, растворяют в изотоническом растворе, содержащем хлорид натрия, чтобы уравновесить создаваемое клеточной жидкостью осмотическое давление. Величина осмотического давления, создаваемая раствором, зависит от количества, а не от химической природы растворенных в нём солей. Поэтому, чем больше концентрация солей в растворе, тем больше создаваемое ими осмотическое давление. Этот закон осмотического давления, выражается следующей формулой:

$$\pi = i.C.R.T \quad (1.2)$$

где  $i$  —изотонический коэффициент раствора;  $C$  — молярная концентрация раствора, моль/м<sup>3</sup>;  $R$  — универсальная газовая постоянная;  $T$  — температура раствора.

Соответственно, если пить дистиллированную воду на постоянной основе, наступит дефицит хлоридов, калия и натрия в крови. Чтобы избежать подобных проблем, специалисты советуют обогащать дистиллированную воду минеральными элементами или же использовать их в своем рационе в виде различных добавок.

### **1.5. Корректировка физико-химического состава искусственных и подземных вод для питьевых целей**

Минерализация является наиболее универсальным методом улучшения качества опреснённых вод. Она позволяет наряду с повышением общего солесодержания воды выполнять селективную коррекцию состава практически по всем лимитирующим показателям её качества. Таким образом, при минерализации часто одновременно осуществляют кальцинацию, карбонизацию и магниальное обогащение вод.

В настоящее время минерализация практикуется в основном на водах при использовании их в системах хозяйственно-питьевого назначения. О важности минерализации свидетельствует тот факт, что на ее долю может приходиться до 20% затрат на опреснение воды. Обогащение воды солями может

осуществляться дозированием в неё солей в твёрдой фазе, концентрированных растворов их и вод с высоким солесодержанием, а также контактированием воды с искусственными минералами (гранулянтами) и с дроблёнными карбонатами щелочноземельных металлов.

*Прямое дозирование солей* широко практикуется на судах. Для минерализации дистиллята могут применяться только соли, расфасованные и упакованные промышленным способом по согласованию с органами здравоохранения. После минерализации дистиллят приближается к составу воды московского водопровода, имеющей утвердившуюся положительную оценку.

Первоначально представлялось наиболее рациональным изготовление из солей таблеток, рассчитанных на определенный объём дистиллята. Однако этот способ оказался непригодным, поскольку  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  вследствие большой гигроскопичности при опрессовывании под давлением в таблетки образует большой монокристалл, очень медленно растворяющийся в воде. Опыты с введением непосредственно в дистиллят нетаблетированных солей (в виде кристаллогидратов) дали неудовлетворительные результаты: время, необходимое для полного растворения солей в минерализуемом объеме, оказалось слишком длительным.

Обогащение дистиллята гидрокарбонатом кальция путем добавления к предварительно насыщенной диоксидом углерода дистиллированной воде навесок  $\text{CaCO}_3$ , показало, что полученная вода имеет незначительную концентрацию бикарбонатов и содержит осадки. В этом случае, вода насыщается в основном кальцием, а дефицит магния и других микроэлементов, таких как фтор и калий ничем не восполняется. При этом, количество вносимого кальция снижает агрессивность воды и регулируется техническими, а не гигиеническими соображениями.

При дозировании *концентрированных растворов солей* для практических целей апробированы и рекомендованы следующие концентрации хорошо растворимых солей, г/дм<sup>3</sup>:  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – до 370,  $\text{NaHSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  – до 180,

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – до 180 и  $\text{NaHCO}_3$  – до 65. Важен также порядок введения этих растворов в опреснённую воду, поскольку в случае их одновременного смешивания получаются нерастворимые карбонат кальция и гидроксид магния. Поэтому сначала добавляют бисульфат натрия, после или одновременно с ним сульфат магния, последними добавляют хлористый кальций и гидрокарбонат натрия. Возможно также одновременное, но равномерно дробное введение всех растворов в постоянный объём воды, если при этом обеспечивается постоянное перемешивание её с каждой порцией раствора.

При дозировании в опреснённую воду вод с высоким солесодержанием возрастает общая минерализация питьевой воды до заданного уровня, определённого технологическими и санитарно-гигиеническими требованиями. Во время смешения некоторые вещества остаются в жидком состоянии, а другие могут переходить в твёрдую или газообразную форму.

Однако, все существующие методы обогащения воды не могут считаться эффективными, так как насыщение воды всеми важными минеральными веществами получить достаточно сложно. Практика показывает, что дозированием в дистиллят вод с высоким солесодержанием добиться приемлемого соотношения между отдельными ингредиентами смеси в пределах допустимого в питьевом водоснабжении солесодержания не удаётся, в первую очередь из-за недостаточного прироста солей жёсткости. Поэтому в большинстве случаев приходится прибегать к отдельной коррекции составляющих смесь вод и доочистке самой смеси.

Отличие такой технологии водообработки состоит в введении дозировки диоксида углерода с повторным использованием прошедшей обработку опресненной промывной воды [40].

На рисунке 1.5 в качестве примера показана технологическая схема станции приготовления питьевой воды производительностью 80 тыс. м<sup>3</sup>/сут в Ливии.

Рассматриваемая технологическая схема отличается введением узла захвата и дозировки диоксида углерода и повторным использованием опресненной промывной воды, обработанной по схеме: коагуляция + осветление + фильтрование. Безвозвратные потери опресненной воды (дистиллята) на станции минимальны, в основном со шламом из осветлителя.

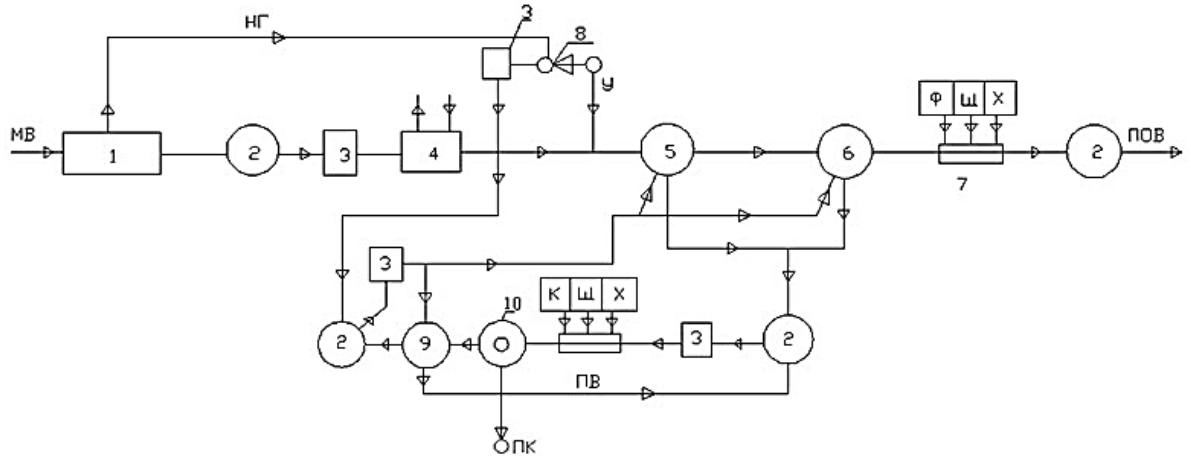


Рисунок 1.5 — Принципиальная схема СППВ производительностью 80 тыс. м<sup>3</sup>/сут

1 - опреснительный комплекс; 2 - резервуар; 3- насосная установка; 4 - теплообменник; 5 — фильтр-обогащения; 6 - сорбционный фильтр; 7 - смеситель; 8 - эжектор водо-газовый; 9 - фильтр; 10- отстойник; ПОВ - питьевая опресненная вода; ПВ - промывная вода; У - углекислота; Ф - фторирование; Щ - подщелачивание; Х - хлорирование; К — добавка коагулянта; ПК - производственная канализация; НГ - неконденсированные газы

На рисунке 1.6 показана принципиальная схема СППВ с получением диоксида углерода сжиганием органического топлива.

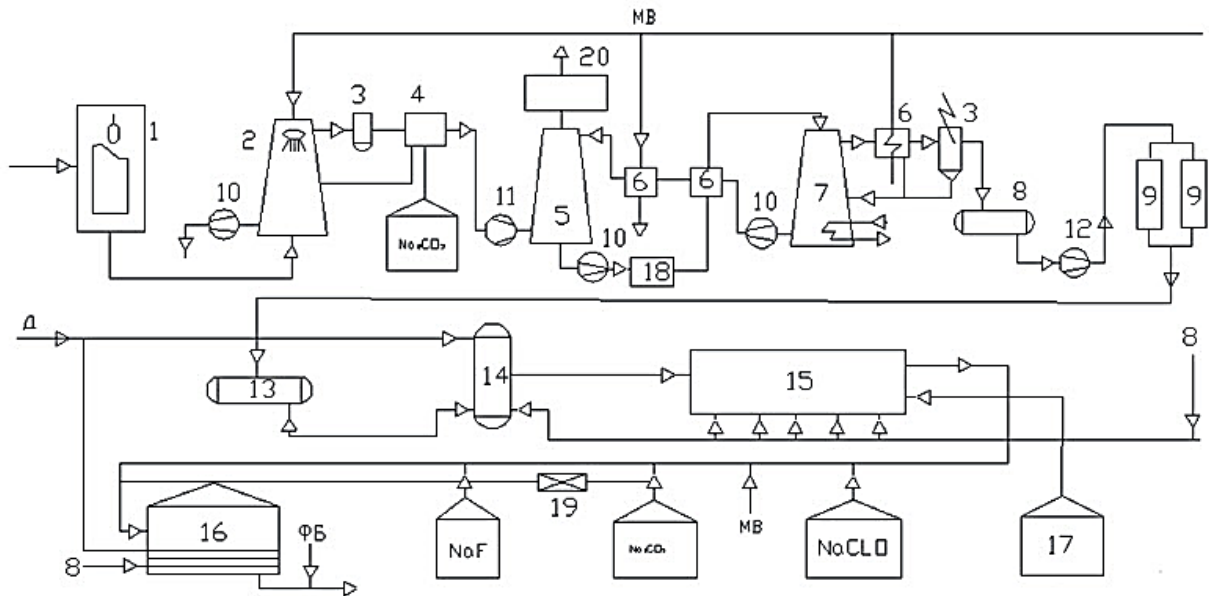


Рисунок 1.6 — Принципиальная схема действующей в Ливии СППВ:

1 - печь для сжигания топлива; 2 - промывочная башня; 3 - сепаратор; 4 - узел для очистки от сернистого газа; 5 - поглотительная башня; 6 - теплообменник; 7 - башни регенерации; 8 - приемный бак; 9 - осушительные фильтры; 10 – насосная установка; 11 - вентилятор; 12- компрессор; 13 - танк с углекислотой; 14 - контактный резервуар; 15 - фильтр обогащения; 16 - резервуар обогащенного дистиллята; 17 - бак промывки; 18 - фильтр; 19- регулятор рН; 20 - система очистки; Т - топливо (нефть, легкие фракции); В - воздух; ФБ - блок фосфатирования; Д – дистиллят

Технология приготовления питьевой воды из дистиллята (рисунок 1.6) заключается в следующем. Получаемый на испарителях морской воды дистиллят обогащают гидрокарбонатами кальция и магния путем дозировки диоксида углерода и фильтрования через аппараты, загруженные дробленым доломитом. Обогащенный дистиллят подвергают коррекционной обработке фтористым натрием, кальцинированной содой и гипохлоритом натрия. Далее в дистиллят добавляют морскую воду в количестве 0,5 % общего расхода дистиллята [41].

В приемном резервуаре питьевую воду аэрируют барботажным методом. Приготовленная по этой технологии вода характеризуется следующими

показателями (мг/дм<sup>3</sup>):  $P=430$ ,  $C = 34,5$ ;  $C = 60,5$ ;  $C = 24,5$ ;  $C = 183,0$ ;  $C= 107,0$ ;  $C= 14,0$ ;  $C= 0,5$ .

Диоксид углерода получают на специальной установке путем сжигания легких фракций нефти с последующей сложной очисткой от сернистых примесей. Предусмотрена стабилизация воды смесью карбоната натрия и фосфата натрия.

При контактировании опреснённой воды с *искусственными минералами* используют гранулированные материалы, содержащие в своём составе комплекс минеральных солей, способных обогащать воду макроионами, как в статическом, так и динамическом режимах. Искусственная фильтрующая загрузка для минерализации воды выпускается французской фирмой «Диалпрозим». Она представляет собой гранулированный гипс и называется «минералайт».

Среди *природных карбонатов* для обработки опреснённых вод находят применение дроблёные мрамор, известняк, доломит и кораллы. Поскольку растворимость природных минералов в воде мала, то при их применении приходится прибегать к предварительной или одновременной кислотной обработке воды

Методы обработки грунтовых вод имеют свою специфику ввиду различных биологических и физико-химических характеристик таких вод, факторов, влияющих на образование вод и природы их загрязнений. По большей части причиной загрязнений являются ошибки, связанные с несоблюдением санитарных норм при тампонаже затрубного пространства скважин [42].

## Выводы по главе 1

1. В результате исследований грунтовых вод Ирака выявлено несоответствие воды практически всей страны общепринятым требованиям и нормативам. Простой пропуск воды через фильтры и дезинфекция не приводят к нужным результатам. Для того, чтобы обеспечить качество питьевой воды, которое бы соответствовало всем требованиям, необходимы комплексные разработки новейших технологий водоочистки.

2. Требования к качеству воды, используемой для питьевых целей, необходимо нормировать, особенно содержание целого ряда эссенциальных элементов.

3. Поскольку содержание солей в воде, полученной обратным осмосом составляет 5-25 мг/дм<sup>3</sup>, а в дистиллированной воде - менее 10 мг/дм<sup>3</sup>, то можно говорить об аналогичном её действии на организм человека.

4. Подземные воды с примесями естественного генеза характеризуются содержанием сульфатов, хлоридов, железа, стронция, марганца, фтора в повышенных концентрациях, повышенной жесткостью и минерализацией; при промышленном загрязнении увеличивается содержание нефтепродуктов, фенолов, сульфатов, марганца, тяжелых металлов, при сельскохозяйственном и коммунальном – появляются соединения азота (нитраты, аммонийный азот), пестициды.

5. Оценивая в целом состояние и развитие методов минерализации вод, следует отметить, что в настоящее время ни одна опреснительная установка не работает без специальных СППВ. Из существующих методов минерализации воды (при отсутствии подземных соленоватых вод гидрокарбонатного класса) наибольшее распространение в условиях крупнотоннажного производства получил фильтрационный метод, заключающийся в фильтровании воды через дроблёные карбонатные породы.

В этой связи имеет смысл в проведении экспериментальных исследований для выявления возможностей интенсификации данного метода в современных реалиях.

6. Новизна в кондиционировании мягких природных и опресненных вод состоит как в разработке новейших эффективных технологий, так и в альтернативном подходе, заключающемся в применении способов термического и мембранного опреснения для производства воды с оптимальным физико-химическим содержанием и обеззараживания.

7. Существующие классические методы очистки воды не справляются с такими загрязнениями, как содержащиеся в воде элементы бора, стронция, фтора. Данные вещества обнаруживаются в повышенных концентрациях в артезианских водах. Перед наукой встает вопрос разработки эффективных решений и методов по удалению этих компонентов из воды.

Поскольку в настоящий момент широко используются артезианские воды, приобретает важность задача очищения таких вод от некоторых отдельных элементов, таких как стронций, бор, фтор и пр., не поддающихся удалению простыми и общеизвестными методами очистки воды.

С наибольшей полнотой потребность в развитии технологий очистки подземных вод возникает в производстве бутилированной питьевой воды, спрос на которую в настоящее время стремительно возрастает. Основная проблема состоит в том, что СанПиН не определяет технологию производства бутилированной питьевой воды, а только её качество.

Кроме того, при производстве бутилированной питьевой воды обеспечивается лишь её соответствие определенным нормам безопасности по содержанию загрязняющих веществ и другим параметрам. Однако не только химический состав и степень очистки воды определяют физиологические свойства воды, но и множество других физических показателей, характеризующих биологическую пользу воды.



## Глава 2. Теоретические и технологические основы улучшения качества некондиционных вод для питьевого водоснабжения

Большинство методов подготовки некондиционных вод для хозяйственно - питьевых нужд (фторирование, фильтрационная кальцинация вод, очистка от бора с помощью комплексообразующих ионитов с высокой избирательной способностью, стронция с применением клиноптилолита в  $\text{Na}^+$ -ионной форме и др.) осуществляются по схеме гетерогенных процессов. Для конструктивного оформления этих процессов необходимо выявить технологические особенности их протекания. Далее на примере кальцинации мягких питьевых вод теоретически исследуются основные закономерности и пути интенсификации процессов подготовки исследуемых вод, а также их практическая реализация в производстве бутилированной воды.

Сегодня опреснение может быть реализовано с помощью нескольких технологий. В целом, опреснительная станция включает различные процессы для получения пресной воды, среди которых опреснительная установка является наиболее энергозатратным компонентом. Опреснительная станция обычно включает в себя:

- водозабор, состоящий из насосов и труб для забора воды из источника (морской или солоноватой воды);
- предварительная обработка, состоящая из фильтрации сырой воды для удаления твердых компонентов и добавление химических веществ для уменьшения осаждения соли и коррозии внутри опреснительной установки;
- опреснение, при котором пресная вода извлекается из соленой воды;
- постобработка для корректировки рН путем добавления выбранных солей, чтобы соответствовать требованиям конечного использования.

Как уже говорилось ранее, процесс опреснения представляет собой наиболее энергозатратную обработку воды. По этой причине данная тема довольно широко рассматривается в литературе.

Прежде чем анализировать конкретные решения, необходимо провести классификацию процессов опреснения. Выделяют три основные категории: 1) выпаривание и конденсация, 2) фильтрация и 3) кристаллизация.

Технологии испарения и конденсации являются первыми методами опреснения, которые были исторически внедрены и использованы для производства пресной воды в гражданских целях. Идея заключается в том, чтобы подвести тепловую энергию в морскую воду, в результате чего образуется пар, а затем происходит его конденсация. Эта энергия может быть получена путем использования тепла от теплового процесса (например, отработанного тепла или от сжигания топлива), или с помощью механического процесса. В первом случае наиболее распространенными технологиями являются метод многоколонной дистилляции, многоступенчатое мгновенное выпаривание, термическое сжатие паров и мембранная дистилляция.

В настоящее время исследуются и другие подходы, среди которых можно выделить следующие несколько новых решений, получаемых с помощью солнечного излучения: солнечная дистилляция, солнечная труба и опреснение с увлажнением-осушением.

Что касается механических процессов, используемых для получения пресной воды путем испарения и конденсации морской воды, то основным методом является механическое сжатие паров.

Фильтрационные технологии в большинстве своем основаны на полупроницаемой мембране, т.е. слое, который показывает различный режим поведения при пересечении в зависимости от размеров или природы молекул. Единственным исключением являются ионообменные смолы, где природные или искусственные материалы используются для химического захвата растворенных ионов.

В этом контексте метод обратного осмоса является наиболее используемой технологией для опреснения. Электродиализ и ионообменная смола используются для получения воды с очень ограниченной

концентрацией солей. Другие технологии, такие как форвардный осмос, нанофльтрация и емкостная деионизация, находятся на стадии разработки.

Наконец, категория "Кристаллизация" включает в себя методы добычи пресной воды с получением льда в качестве промежуточного продукта. В качестве примера можно привести такие основные методы, как вторичное замораживание хладагента, гидратация и вакуумное замораживание. Все эти подходы находятся в стадии исследования.

Другая полезная классификация может быть реализована путем рассмотрения вида энергии. Этот аспект важен для выбора возобновляемых источников энергии для обеспечения процесса опреснения. В настоящий момент выделяют четыре вида энергии: 1) тепловая энергия; 2) механическая энергия; 3) электрическая энергия; 4) химическая энергия.

Первая категория может быть обеспечена солнечной тепловой или геотермальной энергией. Она включает в себя следующие технологии: многоступенчатое мгновенное выпаривание, метод многоколонной дистилляции, мембранная дистилляция, обратный осмос, осушение. В частности, последние три подхода разработаны для прямого использования солнечной радиации.

Группа технологий, требующих на входе механическую энергию, характеризуются наличием насосов и компрессоров, которые требуют большую часть энергии для процесса.

Последние две категории имеют ограниченное количество примеров. Электродиализ и емкостное деионизационное опреснение требуют создания электрического поля между двумя электродами, разделенными анионной и катионной мембраной (селективные мембраны, позволяющие пересекать положительные и отрицательные ионы). В этом случае электричество является единственным способом обеспечить процесс.

Что касается ионообменной смолы, принцип работы заключается в химическом замещении положительных и отрицательных ионов. В случае с

прямым осмосом происходит замена растворителя для извлечения воды из солевого раствора.

Важно подчеркнуть, что механическая энергия и электричество могут быть легко преобразованы в обоих направлениях с высокой эффективностью. По этой причине технологии, требующие затрат механической энергии, посредством насосов или компрессоров, могут быть легко обеспечены электричеством с помощью обычных электродвигателей. Аналогично, механическая энергия может быть преобразована генераторами переменного тока в электрическую для обеспечения процессов опреснения, требующих электрической энергии.

Тепловая энергия - это другой случай, поскольку ее можно легко получить из электричества, через эффект Джоуля или тепловые насосы. Преобразование тепловой энергии в механическую или электрическую энергию происходит с помощью тепловых машин или установок, которые отличаются низкой энергоэффективностью по сравнению с предыдущими случаями, по термодинамическим и техническим причинам.

Важно подчеркнуть, что тепловые источники могут быть успешно использованы для производства электроэнергии в определенных условиях. Например, в случае высокотемпературного геотермального источника может быть реализована электростанция.

Таким образом, чтобы обеспечить процесс опреснения возобновляемыми источниками энергии, необходимо удобно различать источники энергии, применимые с целью производства электричества (или механическую энергию) от тех, которые производят тепловую энергию.

С этой целью возобновляемые источники энергии можно разделить на следующие категории, в соответствии с обычным выходом энергии, который может быть произведен:

- производители электроэнергии, такие как ветер, гидроэнергия, приливы и волны.;

- производители тепловой и электрической энергии, такие как солнечная, геотермальная и биомасса. Выбор выхода энергии обычно обуславливается особенностями местного энергетического ресурса [43-49].

## **2.1. Механизм массообмена гетерогенных процессов и условия его интенсификации (на примере кальцинации мягких питьевых вод)**

Наличие диоксида углерода в исходной воде и его дополнительное введение обеспечивают и интенсифицируют процесс образования гидрокарбоната кальция по уравнению:



Это уравнение процесса является обобщающим. Процесс растворения карбоната кальция в присутствии агрессивной углекислоты представлен несколькими фазами. В первой фазе происходит чисто карбонатное растворение:



Во второй и третьей фазе ионы  $\text{H}^+$  диссоциированных молекул воды вступают в реакцию с ионами  $\text{CO}_3$ :



Во второй фазе часть растворенного в воде диоксида углерода (0,7%) вступает в реакцию с водой и образует угольную кислоту, которая диссоциирует в две стадии:



Первая фаза процесса (2.2) протекает на поверхности зерен карбоната кальция. Концентрация ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  на поверхности соответствует предельным значениям. Диффузия ионов  $\text{H}^+$  (см. уравнения 2.3; 2.6; 2,7) к

поверхности зерен карбоната кальция сопровождается реакцией с образованием гидрокарбонат-иона.



При этом происходит диффузия гидрокарбонатного иона от поверхности зерна в зону более низких концентраций, что вызывает нарушение равновесия (2.2) и обеспечивает растворение материала. В третьей фазе диоксид углерода полностью растворяется.

Скорость растворения на первых двух стадиях очень велика, в первые минуты основное количество карбоната кальция переходит в раствор, но время достижения общего равновесия определяется в 24-60 часов. Рассмотренный выше процесс является гетерогенным, протекающим на границе раздела фаз в несколько стадий.

Первая стадия - подвод реагирующих веществ, вторая - непосредственная химическая реакция на поверхности зерна, третья - отвод продуктов реакции от поверхности.

Эффективность того или иного способа обработки определяется приростом ионов кальция, перешедших из карбонатной в гидрокарбонатную форму в единицу времени с единицы площади фазового контакта при постоянстве исходной концентрации агрессивной углекислоты.

Обогащение воды гидрокарбонатом кальция с использованием диоксида углерода  $\text{CO}_2$  и меловой суспензии можно разделить на два этапа: растворение газообразного  $\text{CO}_2$  в воде (карбонизация) и собственно химическая реакция получения гидрокарбоната кальция. Известно, что растворение  $\text{CO}_2$  до равновесного состояния и реакция образования гидрокарбоната протекают медленно. На основе анализа общего уравнения массопередачи и скорости протекания реакции в гетерогенных системах рассмотрим возможности его интенсификации.

Общее уравнение массопередачи имеет вид:

$$dC_{\text{CO}_2} * d\tau = K_V * F * \Delta C, \quad (2.9)$$

где  $dC_{\text{CO}_2}$  - количество растворенного диоксида углерода за время  $\tau$ ;

$K_v$  - коэффициент массопередачи от одной фазы к другой;

$F$  - поверхность контакта фаз;

$\Delta C$  - разность текущей и равновесной концентрации диоксида углерода в воде.

Определяющим параметром при растворении  $\text{CO}_2$  является коэффициент массопередачи - функция коэффициента диффузии в жидкой фазе, зависящего от коэффициентов молекулярной и турбулентной диффузии. Турбулентная диффузия определяется условиями перемешивания газовой и жидкой фаз. Коэффициент массопередачи (диффузии)  $K_v$  определяется параметрами процесса, которые можно считать управляемыми

$$K_v = f(T, P, M, v, \mu, \rho, \sigma), \quad (2.10)$$

где  $T$  - температура;  $P$  - давление;  $\mu$  - вязкость воды;  $\rho$  - плотность воды;  $\sigma$  - поверхностное натяжение воды;  $v$  - относительная скорость движения фаз.

Коэффициент диффузии  $K_v$  в жидкой фазе зависит от степени гидратации поглощенного из газа компонента и не зависит от давления  $P$ . Повышение вязкости  $\mu$  и плотности  $\rho$  воды, поверхностного натяжения  $\sigma$  на границе раздела фаз может привести к снижению скорости обновления поверхности и соответственно к уменьшению  $K_v$ .

Растворение  $\text{CO}_2$  в воде в производственных условиях чаще всего происходит при постоянной температуре (с точностью до  $5^\circ\text{C}$ ). Все остальные параметры кроме относительной скорости движения фаз  $v$  также постоянны. С возрастанием  $v$  уменьшается толщина ламинарного слоя каждой из фаз на границе их раздела, медленная молекулярная диффузия заменяется быстрой турбулентной, увеличивается поверхность контакта фаз и скорость ее обновления. При увеличении скорости начинается взаимное вихревое проникновение фаз, что ведет к образованию газо-жидкостной эмульсии, т.е. пены, в которой поверхность соприкосновения фаз обновляется мгновенно. При сравнении аппаратов: насадочных, пузырьковых, капельных и пенных относительная скорость фаз возрастает в порядке их перечисления. В пленочных аппаратах она ограничивается скоростью стекания пленки по

насадке, в пузырьковых и капельных - скоростью перемещения пузырьков газа, разбрызгивания и падения капель, в пенных - брызгоуносом.

В пенных аппаратах полного смешения средняя разность текущей и равновесной концентрации диоксида углерода в воде  $\Delta C$  равна конечной  $C_K$  на выходе из аппарата, следовательно, в общем виде:

$$C_{cp} = f(C_{CO_2}, C_H, P, T, \Pi), \quad (2.11)$$

где  $C_H$  - концентрация насыщения  $CO_2$  в воде при нормальных условиях;  $\Pi$  - степень перемешивания каждой фазы (газа и воды в аппарате)

Увеличение  $\Delta C$  в воде достигается повышением концентрации  $CO_2$  в газовой фазе, а, следовательно, увеличением  $C_H$ . Повышение  $T$  приводит к снижению  $C_H$  и  $\Delta C$  уменьшается. Поверхность контакта фаз  $F$  определяется гидродинамическим режимом работы и конструкцией аппарата, создающим интенсивное перемешивание фаз.

Принципы устройства аппаратов для создания максимальной поверхности соприкосновения жидкости с газом можно разделить на 4 класса:

1. Распределение воды в виде тонкой пленки на поверхности загрузки. Величину  $F$  для расчетов принимают равной поверхности зёрен загрузки. При малых плотностях орошения смачивается не вся поверхность загрузки.

2. Разбрызгивание (распыление) воды в объеме или потоке раствора диоксида углерода  $CO_2$ , проходящего через аппарат. Величина  $F$  равна поверхности всех капель. Такие аппараты интенсивнее плёночных, но менее устойчивы в работе.

3. Диспергирование газа в объеме воды путем барботажа. Величина  $F$  равна поверхности всех пузырьков. Барботажные аппараты работают интенсивнее плёночных и разбрызгивающих, но создают большое гидравлическое сопротивление потоку  $CO_2$ .

4. Создание взвешенного слоя подвижной пены при пропускании  $CO_2$  снизу-вверх через решетку пенного аппарата и находящуюся на ней  $CO_2$  с такой скоростью, при которой силы трения  $CO_2$  о воду уравновешивают массу последней. Наибольшая поверхность соприкосновения  $CO_2$  с водой



получается в пенных аппаратах. Непрерывное обновление поверхности  $\text{CO}_2$ , вследствие интенсивного перемешивания фаз, приводит к устранению диффузионного сопротивления и росту коэффициента массопередачи.

Очевидно, что пенный аппарат наиболее эффективен для растворения  $\text{CO}_2$ , но оптимальное соотношение  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  в нем составляет 200-500. В производственных условиях при растворении  $\text{CO}_2$  отношение  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  составляет 20. Учитывая, что водяные пары конденсируются на водяной струе и в потоке  $\text{CO}_2$  содержатся труднорастворимые газы, то соотношение  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  составляет всего 0,2-0,4.

Одним из эффективных аппаратов для растворения  $\text{CO}_2$  в воде является эжектор с прямоугольной или диффузорной камерами. В эжекторе при турбулентном перемешивании в струе относительная скорость фаз в 5-7 раз выше, чем в самых эффективных пенных аппаратах. Высокие относительные скорости фаз реализованы в двухступенчатом абсорбере: эжектор - диффузорная камера растворения (ДКР) с двухфазным пузырьковым слоем в верхней части диффузора. В ДКР, как и в водоструйном эжекторе нет ограничений по относительным межфазным скоростям, как в широко известных аппаратах, кроме энергетических.

При растворении  $\text{CaCO}_3$  происходят два процесса, имеющих противоположные эффекты: разрушение кристаллической решетки, что связано с затратой тепла, и реакция растворенного вещества с водой - гидратация, которая сопровождается выделением тепла. Стандартная свободная энергия химической реакции  $\Delta F_{\text{реакц}}$  связана с константой равновесия  $K_s$  равенством:

$$\Delta F_{\text{реакц}} = -R \cdot T \cdot \lg K_s, \quad (2.12)$$

где  $R$ - (универсальная) газовая постоянная.

Уравнение (2.12) характеризует равновесие, и константа  $K_s$  для рассматриваемой системы  $\text{CaCO}_3(\text{ТВ}) + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2(\text{раств.})$  есть произведение растворимости карбоната кальция. Наличие или отсутствие химического

равновесия в системе устанавливается расчетом произведения их активных концентраций ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  и сравнением его с табличным значением произведения растворимости карбоната кальция.

Важное значение для аппаратурно-технологического оформления процесса имеет знание таких кинетических характеристик процесса как энергия активации, порядок реакции, время контакта и др. Два компонента реакции присутствуют в таком избытке, что их расход практически не отражается на изменении их концентраций. Это дает основание отнести реакцию к мономолекулярной.

Исследованиями установлено, что процесс обогащения является реакцией второго порядка. Скорость реакции  $v_k$  и константа скорости реакции  $K$  могут быть представлены следующими зависимостями:

$$v_k = -dC \cdot dt = K \cdot C^2 \quad (2.13)$$

$$\text{и } K \cdot \tau = C_\tau - C_0, \quad (2.14)$$

где  $K$  - константа скорости реакции  $C_0$  и  $C_\tau$  – концентрация диоксида углерода в воде до и после её кальцинации.

Температурная зависимость константы  $K$  для кинетического режима процесса обогащения определяется уравнением Аррениуса:

$$K = A \cdot \exp E_a \cdot R \cdot T, \quad (2.15)$$

где:  $E_a$  - энергия активации реагирующих веществ;  $A$  – предэкспоненциальный множитель.

В координатах  $\lg K = f(1/T)$  графически возможен расчет  $E_a$  по величине тангенса угла наклона прямой:  $(\lg K = \lg A - \frac{E_a}{R \cdot 2,303} \cdot 1/T)$ . Энергия активации означает количество теплоты, которое необходимо для того, чтобы моль вещества из состояния неактивного перешел в активное.

Для двух различных температур из (2.15) можно записать

$$\ln K_2 \cdot K_1 = E \cdot R_1 \cdot T_2 - T_1. \quad (2.16)$$

По опытным данным В.А. Смирнова увеличение скорости фильтрования карбонизированного дистиллята через гранулированную загрузку ракушечника

с 20 до 80 м/ч приводит к повышению выхода  $S_a$  на 10%. Это означает, что реакция лимитируется химической кинетикой, и константа скорости  $K$  не зависит от состояния потока (ламинарный он или турбулентный). Константа  $K$ , а вместе с ней скорость реакции, увеличивается с повышением температуры процесса.

Также скорость реакции повышается при увеличении поверхности контакта фаз и движущей силы процесса (градиента концентрации в пограничном слое и ядре потока). Увеличение поверхности в процессе кальцинации достигается повышением дисперсности загрузки. Для фильтрационного способа измельчение имеет предел, обусловленный ростом гидравлического сопротивления загрузки. Увеличение дисперсности твердой фазы ведет к замене аппаратов идеального вытеснения на менее экономичные и более ёмкие аппараты смешения [4854].

## **2.2. Принципы кондиционирования воды из подземных источников для производства бутилированной воды питьевого качества**

Параллельно с процессом усовершенствования центрального водоснабжения на базе подземных вод в коммунальном хозяйстве ускоренными темпами увеличивается производство бутилированной воды. За последние два десятилетия потребление водопроводной воды снизилось, и в то же время потребление бутилированной минеральной воды значительно возросло в связи с растущей обеспокоенностью тем, что некоторые компоненты воды или загрязняющие вещества могут негативно влиять на здоровье, а также по причине нехватки чистой природной воды во многих регионах планеты.

Бутилированная вода регулируется как продукт питания. Производители обязаны следовать специальной надлежащей производственной практике для бутилированной воды. Производители также несут ответственность за производство безопасной, полезной и правдиво

маркированной продукции, соответствующей всем применимым нормам в отношении пищевых продуктов. Производители бутилированной воды должны иметь разрешение на использование источника, обеспечивать защиту источника и проводить его постоянный мониторинг. Пробы должны проверяться не реже одного раза в неделю, включая анализ на бактерии, физические и химические параметры, растворенные твердые вещества, рН, мутность, цвет и электропроводность. Индустрия бутилированной воды также должна соответствовать государственным стандартам и стандартам торговой ассоциации для членов Международной ассоциации бутилированной воды (IBWA). Стандарты IBWA в некоторых случаях более строгие, чем федеральные стандарты. Международная ассоциация бутилированной воды (IBWA) описывает бутилированную воду как воду, предназначенную для потребления человеком, соответствующую всем санитарно-гигиеническим нормам государства, запечатанную в емкости без добавления ингредиентов, за исключением безопасных и подходящих противомикробных препаратов. Питьевую бутилированную воду разделяют на природную минеральную и искусственную минеральную.

Под *природной минеральной водой* понимается подземная вода, в которой сохраняется изначальный состав минералов. Природная минеральная вода изначально поступает из подземного, защищенного источника. Он должен быть чистым, а также микробиологически и химически безупречным. Минеральная вода должна быть разлита в бутылки либо прямо у источника, либо в непосредственной близости от него. В него нельзя добавлять другие вещества, а также подвергать дополнительной обработке. Если содержание природной углекислоты превышает 250 мг/л, вода называется кислой.

*Искусственная минеральная вода* - это питьевая вода, искусственно обогащенная минералами. Обогащая ее определенными минералами природного происхождения, производители пытаются имитировать природную минеральную воду из подземных источников, защищенных от загрязнений и примесей.

В зависимости от способов водообработки искусственную питьевую воду подразделяют:

- на очищенную или доочищенную из водопроводной сети. Лишь небольшой процент бутилированной воды поступает из родниковой воды. Около 25% бутилированной воды поступает из крана. Некоторые компании фильтруют воду или обрабатывают ее ультрафиолетом, прежде чем она попадает в продажу. При этом, вода подвергается «доочистке», в ходе которой из воды полностью извлекаются некоторые вещества, что неблагоприятно влияет на здоровье человека.

- на обработанную, качественно адаптированную до питьевых норм благодаря целенаправленной обработке.

Часто компании по производству минеральной воды добавляют в воду газ  $\text{CO}_2$  под давлением при наполнении бутылки. Уровень газирования бутилированной воды может быть разным, что регламентируется в нормативных документах тех или иных государств.

Жесткость подземных вод может значительно варьироваться в верхних и нижних пределах, быть чрезвычайно завышенной или низкой, содержать повышенные концентрации йода, фтора и других элементов. Все эти факторы усложняют процесс производства бутилированной воды.

Вначале воду очищают при помощи фильтров с активированным углем или песком. Затем ее пропускают через другие типы фильтров, которые, в зависимости от цели, или задерживают минералы или, напротив, обогащают воду теми или иными минералами. Затем происходит обеззараживание воды через насыщение озоном и с помощью ультрафиолета. Будучи активным окислителем, озон имеет губительное влияние на молекулярном уровне. Любая дезинфекция воды нарушает ее структуру. На данный момент электролиз воды ионами  $\text{Ag}$  представляет собой наиболее щадящий способ. [55].

Для производства бутилированной воды чаще всего применяют метод обратного осмоса. Сырая вода продавливается через сито, поры которого

настолько малы, что через них проходят только молекулы чистой воды. Сито представляет собой полупроницаемую осмосную мембрану, которая гарантирует, что очищенная вода не сможет попасть обратно через "сито". Теперь отдельные молекулы воды могут быть отделены друг от друга, и таким образом может быть проведена чрезвычайно тонкая очистка. Таким образом, эффективность системы осмоса во много раз выше, чем у обычного фильтра тонкой очистки, который обычно работает с помощью простого просеивания [56].

Затем загрязненная "остаточная" вода сбрасывается в канализацию. Доля остаточной воды варьируется в зависимости от конструкции системы и зависит от производительности мембраны, давления исходной воды на входе, температуры, а также от типа загрязнения и связанной с ним величины осмотического давления. Таким образом, отделяется чистая вода. После очистки в воду добавляют необходимые минералы и микроэлементы, обогащают кальцием, фтором, магнием и пр.

Основная проблема подготовки "бутилированной" воды, производимой из подземной, обычно связана с эксплуатацией фильтров с активированным углем, и избыточной или недостаточной жесткостью воды, содержанием в ней йода, фтора и т.д. Отметим, что крупнотоннажной технологии по стабилизации йода в воде еще не разработано, он может быть только природным. Обязательное требование - вода должна иметь правильное соотношение солей.

Для предотвращения поляризации мембранных фильтров в качестве ингибиторов служат смеси фосфоновых и полиакриловых кислот и их производных. Применение ингибиторов часто связано со стремлением производителей мембранного оборудования завуалировать и исправить недоработки конструкции, использование в нем элементов и материалов бытового оснащения. С одной стороны, такое решение помогает уменьшить капитальные затраты при производстве такого оборудования, однако, с другой стороны, это приводит к существенному увеличению расходов при

эксплуатации установки в связи с постоянным существованием проблемы качества воды [57].

Необходимость использования ингибиторов исчезает, если в установке по приготовлению воды имеется модуль умягчения, который способствует эффективной работе мембранной установки с конверсией 75-80% и, таким образом, сохраняет «природные» свойства воды. Корректно рассчитанный цикл водоподготовки с использованием блока умягчения более экономичен, по сравнению с применением ингибиторов. При этом регенерацию следует выполнять в так называемом «голодном» режиме [58-61].

Учитывая новейший опыт по производству бутилированной воды, мы предлагаем стандартизированную технологическую схему подготовки подземной воды (рисунок 2.1).

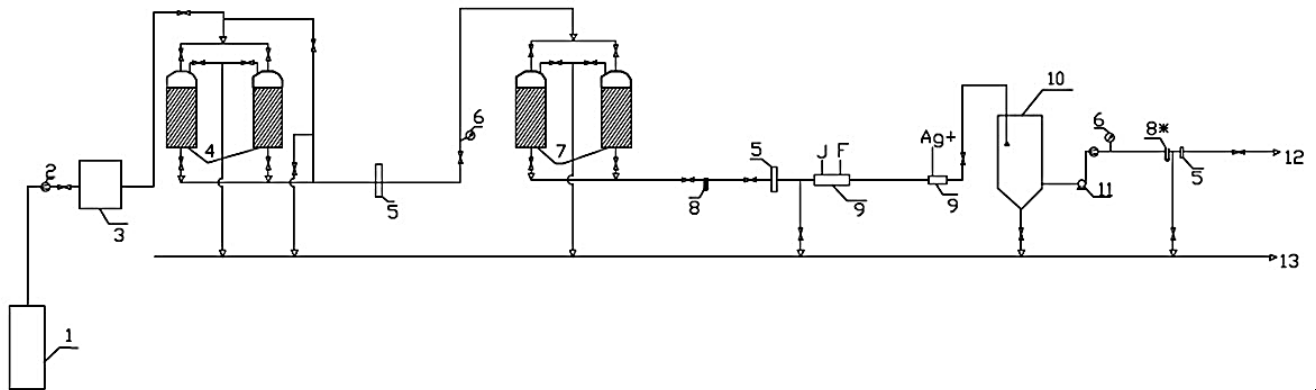


Рисунок 2.1 — Схема подготовки очищенной подземной воды для её бутилирования

Экспликация: 1 - скважина; 2 - расходомер; 3 - камера аэрации; 4 - осветлительно-сорбционные фильтры (ФОС); 5 – бактерицидная лампа; 6 - манометр; 7 - фильтры с активированным углем (АУ); 8 - фильтр тонкой очистки (Big Blue 40/5мин); 8 - фильтр тонкой очистки (01.1-1 мкм); 9 - смеситель; 10 - резервуар питьевой воды; 11 - насос; 12 - линия розлива; 13 – канализация;

Условные обозначения: J - йодирование; F - фторирование; Ag<sup>+</sup> - консервация; I – консервация

Остановимся более подробно на фильтрах, применяемых в данной схеме.

*Фильтры с активированным углем.* Принцип адсорбции фильтра из активированного угля заключается в образовании слоя сбалансированной

поверхностной концентрации на поверхности его частиц. Размер частиц активированного угля также влияет на адсорбционную способность. В целом, чем меньше частицы активированного угля, тем больше площадь фильтрации. Таким образом, порошкообразный активированный уголь имеет большую общую площадь и хороший адсорбционный эффект. Однако порошкообразный активированный уголь может легко просочиться в резервуар с водой, что затрудняет управление. По этой причине порошкообразный активированный уголь используется редко. В отличие от него, гранулированный активированный уголь трудно пропускает воду из-за образования частиц, и загрязняющие вещества, такие как органические вещества в воде, трудно блокировать в фильтрующем слое активированного угля. Адсорбционная способность фильтра из активированного угля прямо пропорциональна продолжительности времени, проведенного в контакте с водой. Чем выше качество отфильтрованной воды, тем дольше требуется время контакта. Отфильтрованная вода должна медленно выходить из фильтрующего слоя. Перед использованием новый активированный уголь следует очистить, иначе из него будет вытекать черная вода.

После использования активированного угля в течение 2-3 месяцев его следует заменить, если эффект фильтрации снижается.

*Фильтры тонкой очистки* состоят из корпуса фильтра, фильтрующей мембраны и т.д. Оптимальным материалом для корпуса фильтра служит нержавеющая сталь. Корпус может быть разделен на фланцевый и зажимной типы, причем фланцевый тип корпуса целесообразнее использовать в случаях с большим потоком фильтрации.

Фильтрующий элемент, расположенный в центре корпуса фильтра, чаще всего изготавливается из полипропиленового фильтрующего хлопка. В некоторых ситуациях может быть использован фильтрующий элемент из проволоки или фильтрующий элемент из активированного угля. Количество размещенных фильтрующих элементов может составлять от одного до



нескольких десятков, при этом основным фактором является размер перерабатывающей емкости.

### 2.3. Рекомендации по внедрению методов кондиционирования опресненной воды для питьевых нужд

Для добычи и очистки подземных вод, загрязненных различными примесями, предлагается технологическая схема, представленная на рисунке 2.2.

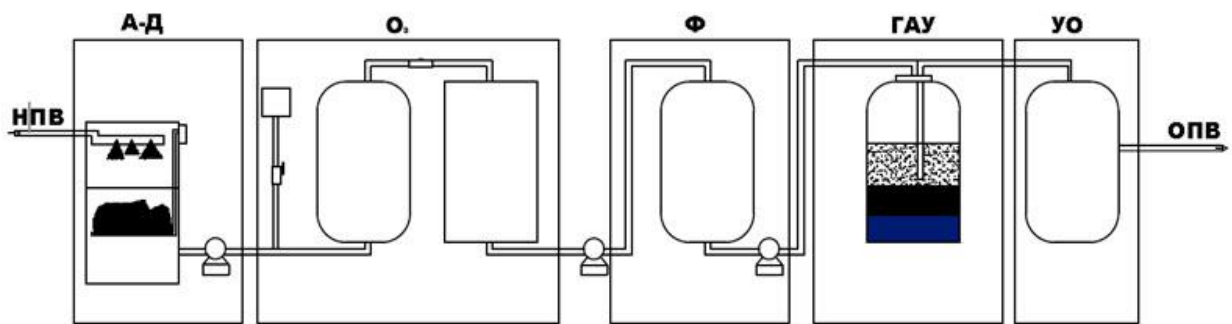


Рисунок 2.2 — Технологическая схема очистки некондиционных подземных вод от природных и антропогенных загрязнений:

А-Д – аэрация с дегазацией; ОЗ – преозонирование; Ф – фильтрование; ГАУ – сорбция на гранулированном активном угле; УО – узел обеззараживания; НПВ, ОПВ – некондиционная и очищенная подземная вода соответственно.

Технологическая схема сооружений включает: аэрацию в аэраторах противоточного типа, где газы  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  удаляются в атмосферу, а вода обогащается кислородом. При этом меняется Ох-Red потенциал системы, с повышением рН, вместе с тем частично окисляется железо, марганец и некоторые другие металлы. На следующем этапе очистки воду предварительно озонируют, интенсифицируя процесс окисления марганца, железа, органических соединений и тяжелых металлов. Озон окисляет марганец и некоторые тяжелые металлы, в то же время способствует понижению рН [62].

Далее в схеме предусмотрено фильтрование и сорбция на гранулированном активированном угле с последующим обеззараживанием.

В случае крупных органических загрязнений подземных вод, поддающихся окислению с наибольшим трудом, перед отправкой в блок сорбции на гранулированном активированном угле (ГАУ), воду подвергают вторичной обработке озоном с рекуперацией его на этапе предварительного озонирования для того, чтобы продлить работу адсорбционного фильтра (рисунок 2.3).

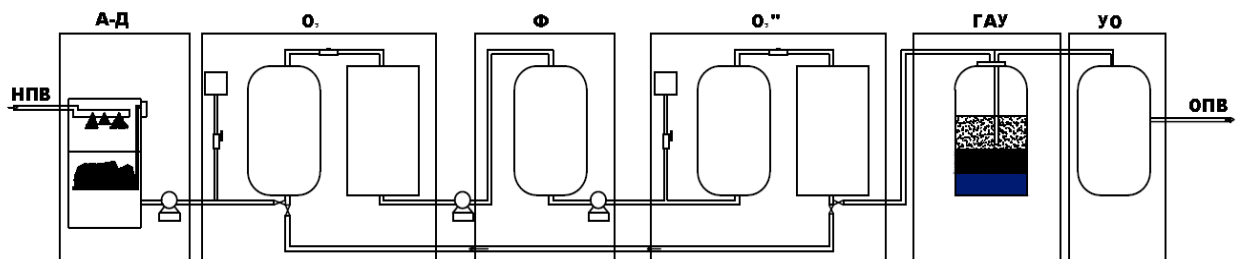


Рисунок 2.3 — Технологическая схема очистки некондиционных подземных вод при высоких антропогенных нагрузках на водоисточник

ОЗ', ОЗ'' – соответственно первичное и вторичное озонирование  
остальные аббревиатуры те же, что на рисунке 2.2

Вследствие вторичного озонирования разрушаются органические загрязнения, которые могут эффективно взаимодействовать с озоном, образуя при этом продукты, подвергающиеся в загрузке сорбции на гранулированном активированном угле биохимическому окислению до  $\text{CO}_2$  и воды.

При повышенном антропогенном загрязнении воды, как-то, хлорорганическими пестицидами, имеет смысл усилить окисление озоном, используя данный процесс совместно с ультрафиолетовым облучением перед обработкой воды гранулированном активированном углем (рисунок 2.4). Гидропероксильные радикалы, образующиеся при этом, генерируют критическую долю перекиси водорода и, таким образом, катализируют окисление.

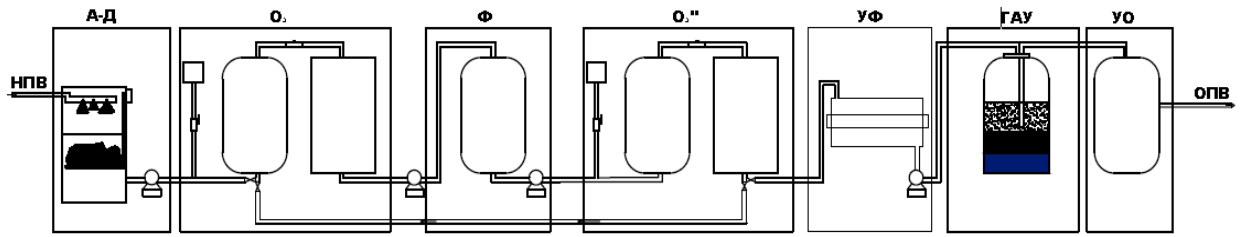


Рисунок 2.4 — Технологическая схема очистки некондиционных подземных вод при высоких антропогенных нагрузках на водоисточник

УФ – ультрафиолетовое облучение; остальные аббревиатуры те же, что на рисунке 2.3

Остановимся более подробно на дезинфекции воды (в особенности, на озонировании), что является важным шагом в водообработке. Помимо превышающих допустимые концентрации химических элементов, содержащихся в подземных водах, не менее важной проблемой является наличие в воде микроорганизмов, бактерий и прочих простейших организмов, которые способны нанести вред здоровью человека. Воду можно дезинфицировать различными способами. Широко распространено использование сильного ультрафиолетового излучения, добавление хлора и озонирование.

Ультрафиолетовое излучение способно инактивировать микроорганизмы, снижая микробную нагрузку в тонкой пленке питьевой воды. Гермицидный эффект заключается в повреждении нуклеиновой кислоты, что препятствует репликации микроорганизмов. Ультрафиолетовый свет инактивирует переносимые водой патогены в следующем порядке: простейшие, бактерии, споры бактерий, вирусы и бактериофаги. Ультрафиолетовое облучение не нашло широкого применения в питьевой промышленности, поскольку оно не проникает далеко в системы трубопроводов и не защищает от дальнейшего загрязнения.

Озон обладает превосходными качествами дезинфекции и окисления. При дезинфекции, озон, растворенный в воде, имеет явное преимущество перед традиционными методами, такими как хлор или ультрафиолетовые лучи: он экологически безопасен, активен за пределами точки происхождения,

имеет лишь короткое время пребывания в воде и впоследствии нейтрален на вкус. Благодаря своему высокому окислительному потенциалу озон эффективно уничтожает микробы, вызывая разрушение клеточной мембраны распространенных патогенных микроорганизмов. Озон быстро разлагается обратно в обычный кислород.

Озон можно добавлять в нескольких точках системы очистки, например, во время предварительного окисления, промежуточного окисления или окончательной дезинфекции. Обычно рекомендуется использовать озон для предварительного окисления, перед песчаным фильтром или фильтром с активированным углем. После озонирования эти фильтры могут удалить оставшиеся органические вещества (что важно для окончательной дезинфекции). Такая комбинация имеет ряд преимуществ:

- удаление органических и неорганических веществ;
- удаление микрозагрязнителей, таких как пестициды;
- усиление процесса флокуляции/коагуляции/декантации;
- усиленная дезинфекция и уменьшение количества побочных продуктов дезинфекции;
- устранение запаха и вкуса.

Все источники воды содержат природные органические вещества (далее – ПОВ). Их концентрация варьируется от 0,2 до более чем 10 мг/л. ПОВ создают прямые проблемы, такие как запах и вкус воды, а также косвенные проблемы, такие как образование органических побочных продуктов дезинфекции, поддержка роста бактерий в распределительной системе и т.д. Для получения чистой питьевой воды удаление ПОВ является серьезной проблемой при водоподготовке.

Озон, как и любой другой окислитель, редко достигает полной минерализации ПОВ. Органические вещества частично окисляются и становятся более легко биоразлагаемыми. Это приводит к увеличению количества биоразлагаемого растворенного органического углерода (БРОУ). В результате озон улучшает процесс удаления ПОВ последующим фильтром,

когда он используется в качестве предварительного окислителя. Удаляется еще больше ПОВ, когда озон используется в сочетании с биологическим фильтром и, особенно, с коагулянтом. Это объясняется тем, что озон может усилить процесс коагуляции. Комбинация коагуляция-озон-биофильтрация приводит к снижению ПОВ на 64%. Когда применяется только биофильтрация, снижение составляет всего 13%. Оптимальная концентрация для удаления органических веществ с помощью озона выявлена при дозе озона:  $O_3/ПОВ = 1 \text{ мг/мг}$ .

Большинство неорганических веществ могут быть удалены озоном довольно быстро. После озонирования для неорганических веществ также требуется биофильтрация. А именно, при окислении образуются нерастворимые соединения, которые необходимо удалить на следующем этапе очистки воды [63].

Несколько исследований показывают, что озон может быть очень эффективным для окисления некоторых пестицидов. Опыты показывают, что три барьера (хранение-озонирование-фильтр из гранулированного активированного угля) достаточно эффективны и безопасны для удаления пестицидов. В таблице 2.1 приведен обзор пестицидов, которые легко разлагаются озоном. Для особо устойчивых пестицидов рекомендуется использовать более высокую дозу озона или озон в сочетании с перекисью водорода [64].

Таблица 2.1— Разложение пестицидов при озонировании (%)

Пестицид	pH 7,2; 5°C; $O_3/DOC = 1,0$	pH 7,2; 20°C; $O_3/DOC = 1,0$	pH 8,3; 20°C; $O_3/DOC = 1,0$
Диазинон	86	92	92
Диметоат	97	97	97
Паратион-метил	85	91	91
Диурон	91	95	98
Линурон	67	81	89
Метабензтиазурон	78	90	94
Метобромурон	83	91	94

МСРА	83	87	90
МСРР	91	93	93
хлортолурун; изопротурон; метоксурон; винклозолин	> 99	> 99	> 99

Соединения, образующие запах и вкус, часто очень устойчивы. Это приводит к тому, что их устранение является очень интенсивным процессом. Для устранения вкуса и запаха может подойти несколько процессов, таких как окисление, аэрация, фильтрация гранулированным активированным углем или песчаная фильтрация. Обычно применяется комбинация этих методов.

Озон может окислять соединения в диапазоне 20-90% (в зависимости от типа соединения). Озон более эффективен для окисления ненасыщенных соединений. Как и в случае с окислением пестицидов, озон в сочетании с перекисью водорода более эффективен, чем озон в одиночестве.

Как правило, наиболее эффективным способом удаления компонентов вкуса и запаха является сочетание предварительного окисления и фильтрации. В таблице 2.2 показано несколько комбинаций методов для улучшения вкуса. Озон с песчаной фильтрацией и фильтрацией активированным углем является наиболее эффективной комбинацией (82% удаления).

Таблица 2.2 — Влияние озона и последующей обработки на порог запаха и снижение запаха

Способ обработки	средний порог вкусовых качеств	уменьшение вкуса (%)
сырая вода	10	
отстоявшаяся вода	7	30
фильтрованная вода	5,3	47
вода, фильтрованная озоном	3,3	67
песок без озона	3	70
песок с озоном	3	70
песок и активированный уголь без озона	2,8	72
песок и активированный уголь с озоном	1,8	82
активированный уголь без озона	2,3	77
активированный уголь с озоном	2,8	72

Несмотря на все видимые преимущества озон быстро разлагается в воде, срок его жизни в водных растворах очень короткий (менее одного часа). Поэтому озон менее пригоден для остаточной дезинфекции и может использоваться только в особых случаях (в основном в коротких распределительных системах). Хлор и диоксид хлора часто заменяют озон в качестве окончательного дезинфицирующего средства. Более целесообразно использовать озон для первичной дезинфекции (перед биофильтрацией). Это приведет к более полной дезинфекции и более низкой концентрации дезинфицирующего средства [65, 66].

Что касается применения хлора, то помимо его неприятного запаха, который он оставляет в воде, он не является эффективным против всех типов микробов. Кроме этого, активные виды хлора разрушают полимерную сеть мембран обратного осмоса, делая их со временем более слабыми, что позволяет использовать дополнительные установки для доочистки после дехлорирования, увеличивая эксплуатационные расходы установок обратного осмоса.

Дезинфекция с использованием комбинации УФ-излучения и озона в качестве жизнеспособной альтернативы хлорированию была широко изучена, поскольку они не образуют вредных побочных продуктов и эффективны против большинства микробов, присутствующих в воде. Однако эти методы имеют свои ограничения, например, они неэффективны против взвешенных твердых частиц, являются энергоемким процессом и подвержены коррозии. В настоящий момент ученые разрабатывают новые технологии, материалы и методы, относящиеся к области нанонауки и нанотехнологий, которые должны показать большой потенциал в качестве альтернативы классическим методам дезинфекции. Так, например, уже есть разработки таких технологий, как фотокатализ и наносеребро, которые показали многообещающие результаты в области дезинфекции, поскольку они эффективны в отношении органических загрязнителей, а также микробов и не производят вредных побочных продуктов.

Итак, вследствие очистки воды согласно основной технологической схеме выполняются следующие действия: дегазация, обезжелезивание, деманганация, снижение цветности и содержания аммонийного азота, уменьшение концентрация тяжелых металлов. При дегазации удаляются растворенные газы:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ .

По физико-химическому составу вода соответствует нормам, при этом интегральный санитарный показатель токсичных загрязнений  $< 1$ .

Такие способы очистки грунтовых вод от антропогенных загрязнений как насыщение кислородом (аэрация), удаление газов (дегазация), биосорбция, обработка озоном, дезинфекция ультрафиолетом показали свою наибольшую эффективность [67-70].



## Выводы по главе 2

1. В результате исследования процесса обогащения некондиционной воды гидрокарбонатом кальция в гетерогенной фазе с использованием кальций карбонатсодержащих материалов ( $\text{CaCO}_3$ ) и диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) установлено, что указанный процесс практически мало зависит от диффузионных параметров и ограничен кинетической областью.

Выявлено, что при расширении поверхности контакта фаз процесс обогащения гидрокарбонатом кальция усиливается. Также, повышение температуры и концентрационного градиента способствуют усилению данного процесса.

Установлено, что повышение температуры процесса, например, с 278 до 313 град. К ведет к увеличению константы скорости химической реакции в 2,3 раза. При переходе от гетерогенной реакции  $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2$  к гомогенной  $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$  в идентичных условиях константа увеличивается с  $2,75 \text{ дм}^3 \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$  до  $9,9 \text{ дм}^3 \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ , т.е. почти в 4 раза.

Для интенсификации процесса необходим подвод энергии (электроимпульс, интеграция, ультразвук и др.) с целью активации процесса и увеличения энергии гидратации по сравнению с энергией кристаллической решетки кальцита.

2. Многими производителями оборудования водоподготовки навязывается применение отдельных блоков без создания промышленных сооружений. Часто применяются опасные для здоровья населения решения, как например, установки обратного осмоса, с непрерывным дозированием в поток исходной воды ингибиторов.

3. Анализ на мутагенность бутилированной воды в настоящее время в России не проводится, т.к. в стране пока не разработаны подобные нормы.

4. В ходе вторичной обработки из воды выводятся элементы, важные для здоровья человека. Их повышенная концентрация менее вредна для организма, чем их нехватка или полное отсутствие.

5. Изготовление бутилированной воды наносит значительный вред окружающей среде. Для того, чтобы произвести 1 бутылку воды необходимо затратить количество воды в 7 раз больше. В США, например, на производство 1 м<sup>3</sup> воды затрачивается 500-1000 долларов, тогда как на производство проточной воды «из-под крана» - 50 центов. Только 23% использованной пластикой тары отправляется на переработку, что обходится бюджету в 70 млн. долларов.

### **Глава 3. Лабораторные и пилотные эксперименты определения технологических характеристик основных методов водоподготовки**

#### **3.1. Кондиционирование пермеата II-ой ступени опреснения морской воды на обратноосмотической установке**

В качестве альтернативного метода приготовления воды путем промышленной дистилляции, распространенного в некоторых приморских регионах Евразии, используется метод обратного осмоса для водоподготовки из пермеата морской воды [71].

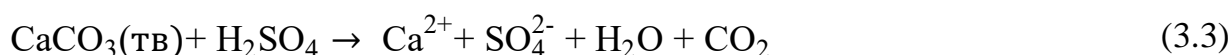
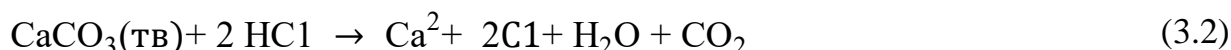
В первую очередь, морскую воду предварительно подготавливают. В морской воде содержится активный бор в виде борной кислоты. При концентрации 4-6 мг/л он все еще является одним из макроэлементов, несмотря на его низкую долю в морской воде. Борную кислоту трудно удалить из воды с помощью ионообменников из-за ее сходства с силикатами. В этой связи воду обессоливают поэтапно. Сначала в пермеат 1ой ступени добавляют щелочь, доводя до  $pH = 10$ . Затем следует обогащение пермеата 2ой ступени гидрокарбонатом кальция и дальнейшая обработка в соответствии с требованиями СанПиН. В ходе научного эксперимента особое внимание уделялось способам обогащения имитата пермеата 2ой ступени при помощи кальций-карбонатной загрузки и минеральной кислоты [72-74].

Одним из характерных качеств кондиционных вод является низкое содержание кальция. В процессе ионного обмена происходит умягчение воды. В этом процессе образующие жесткость вещества кальций и магний обмениваются на безвредный натрий. Однако, кальций является чуть ли не самым важным компонентом в нашем организме. Он регулирует преобразование нервных импульсов в мышечную активность, контролирует свертываемость крови, запускает выделение гормонов и регулирует активность ферментов. Кроме того, он может оказывать противоаллергическое и противовоспалительное действие и надолго

уплотнять сосуды. Таким образом, кальций является чрезвычайно важной питательной ценностью для здоровья человека, хотя мы получаем лишь небольшую часть нашей суточной потребности через питьевую воду. Следовательно, чтобы вода соответствовала требованиям в части содержания кальция, встает задача повысить концентрацию данного элемента в обработанной воде. Согласно последним исследованиям, взрослому человеку, начиная с 15-летнего возраста, для удовлетворения потребности необходимо употреблять 1000 мг кальция в день, содержание в воде должно составлять не менее 30 мг/сутки. Имеется многолетняя практика (г. Актау, Казахстан) использования в качестве источника кальция дроблёную кальций карбонатсодержащую породу в виде загрузки скорых фильтров [75]. Для выполнения процесса обогащения опреснённой воды кальцием необходима предварительная карбонизация её диоксидом углерода по уравнению:



Целью исследовательской работы являлось выявление способов усиления процесса обогащения дистиллята кальцием, при котором угольная кислота заменяется минеральной. Процесс представлен следующими равенствами [76]:



На экспериментальной двухконтурной циркуляционной установке (рисунок 3.1) проводились исследования по оценке эффективности дозировки соляной и серной кислоты при обогащении дистиллята кальцием. Циркуляционная установка включает: абсорбер (поз.1), в котором при барботажно-брызгальном режиме происходит обогащение дистиллята при введении диоксида углерода, насос (поз.2) и диоксид углерода в баллоне (поз.3).

Во втором контуре экспериментальная установка (рисунок 3.1) состоит из абсорбера (поз.1), фильтра (поз.4), аппарата вытеснителя (поз.5),

соединенного шлангом (поз.7) с компенсационной емкостью (поз.6). Также установка оборудована ротаметром (поз.8) и дифманометром (поз.9).

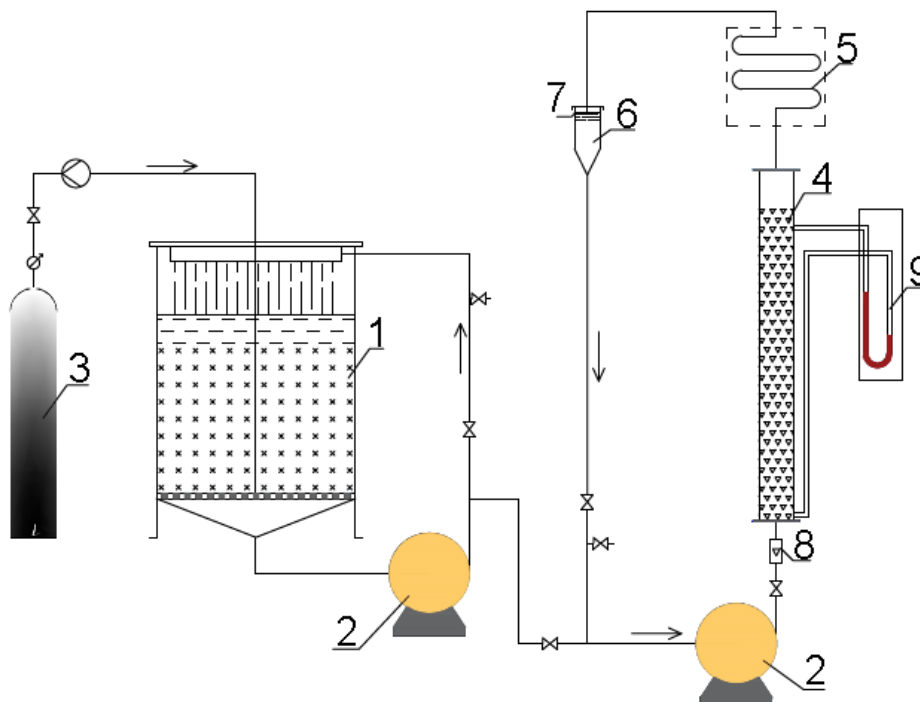


Рисунок 3.1 — Схема экспериментальной циркуляционной установки фильтрационного обогащения дистиллята:

1 - абсорбер для растворения диоксида углерода; 2 - насос; 3 - баллон с диоксидом углерода; 4 - фильтр с карбонатной загрузкой; 5 - аппарат-вытеснитель; 6 - компенсационная емкость; 7 - поплавок; 8 - ротаметр; 9 - дифманометр

В качестве фильтрующей загрузки применялся кальций карбонатсодержащий, состоящий из ракушечника, мелко раздробленного. Высота слоя загрузки составляет 1000 мм, диаметр проточной части фильтра 50 мм. Состав фильтра показан в таблице 3.1. При прокаливании ракушечника потери составили 41.98%, неучтенные потери – 0.27%.

Таблица 3.1— Химический состав загрузки

загрузки	%	загрузки	%	загрузки	%
SiO <sub>2</sub>	2,09	TiO <sub>2</sub>	следы	SO <sub>3</sub>	следы
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,57	CaO	52,93	K <sub>2</sub> O	0,20
AlO <sub>3</sub>	0,97	MgO	0,63	Na <sub>2</sub> O	0,33

Для проведения экспериментальных исследований использовалась термически опресненная вода с солесодержанием до 5 мг/л, щелочностью 0,05 мг-экв/л, общей жесткостью 0,15 мг-экв/л, сульфаты 0,3 мг/л, хлориды – 0,1 мг/л, рН- 6,9. По составу вода аналогична промышленному дистилляту.

В экспериментальной установке аппарата вытеснителя (рис.3.1, поз.5) выполнен в виде спиралевидной трубки внутренним диаметром 30 мм. Благодаря такой конструкции возрастает продолжительность цикла и, соответственно, научного эксперимента. Погрешность экспериментальных данных на циркуляционной установке составляет до 5% по сравнению с проточным фильтрованием. Наиболее эффективной установкой является циркуляционная, по сравнению с проточным фильтрованием. При циркуляции жидкости определение кинетики обогащения дистиллята кальция возможно при различных значениях скорости фильтрации и времени проведения эксперимента [77-80].

Опыты по определению влияния на кальцинацию начальной концентрации диоксида углерода состояли из 5 серий со следующими начальными концентрациями диоксида углерода: 1, 2, 3, 12, 30 мг-экв/л. Каждый опыт серии проводился с постоянной скоростью фильтрования, определяемой по формуле:

$$v = Q_i / S \quad (3.4)$$

где  $Q_i$  - расход, соответствующий скорости фильтрования  $v_i$ ;

$S$  - площадь сечения фильтра.

Приготовленный в первом контуре раствор диоксида углерода насосом (рисунок 3.1, поз.2) подавался во II контур при закрытом венти́ле этого контура. Заполнение контура велось при расходе, соответствующем скорости фильтрования в данном опыте. В момент появления жидкости в нижней части фильтра включался секундомер, отсчитывающий время опыта. После заполнения всей системы перекрывался межконтурный кран, включался насос (рисунок 3.1, поз.2), открывался кран II контура и включался насос 5, устанавливался необходимый расход соответствующей скорости

эксперимента. Далее, через определенный интервал времени (5 или 10 мин) проводились отбор и анализы проб. Объем одной пробы составлял 50 мл. Около 2,5 мл шло на ополаскивание емкости отбора проб. Продолжительность опыта - 80 мин, после чего контур опорожнялся и промывался дистиллятом.

Весьма важным в циркуляционной лабораторной установке для обеспечения достоверности результатов является точное определение времени контакта воды с загрузкой. Если общий объем системы (второй контур) составляет  $V = 7350$  мл, то при скорости  $v_i$  время одного цикла будет определяться соотношением,  $V/(v_i \cdot s)$  т.е. за это время весь объем дистиллята в контуре пройдет один раз через фильтр. Время контакта элементарного объема жидкости с загрузкой за один цикл определяется соотношением  $H/v_i$ , где  $H$  - высота фильтрующего слоя, в нашем случае  $H = 100$  см.

Если время эксперимента обозначим  $\tau_o$ , то число циклов за время  $\tau_{oi}$  определяется соотношением:

$$n_o = (t_{oi} v_i S) / V \quad (3.5)$$

а время контакта элементарного объема жидкости с загрузкой за время эксперимента  $\tau_{oi}$  определяется соотношением:

$$t_k = ((t_{oi} v_i S) / V) * (H / v_i) = (t_{oi} S H) / V \quad (3.6)$$

Подставив в (5) известные величины, получим:

$$\tau_k = K_2 \cdot \tau_{oi}, \text{ где } K_2 = 0.272. \quad (3.7)$$

Из полученного выражения следует, что в циркуляционной системе время контакта элементарного объема жидкости с загрузкой определяется только временем работы системы. Соотношение  $(S \cdot H) / V = 0.272$  является геометрической характеристикой системы. В ходе экспериментов производился отбор проб (всего 12 проб по 52,5 мл, т.е. 630 мл, что в процентном выражении от общего объема системы составляет 8,6%) и происходило снижение объема циркулирующей в системе воды. В связи с этим возникла необходимость введения поправочных коэффициентов в расчетное время контакта, полученное из выражения (6). Уточненное время контакта определяется соотношением:

$$\tau_{\text{кв}} = K_2 \cdot K_j \cdot \tau_0, \quad (3.8)$$

где  $K_j$  - поправочный коэффициент увеличения времени контакта вследствие уменьшения объема циркулируемой в контуре воды за счет отбора проб. Эти коэффициенты определяются зависимостью:

$$K_j = V / [V - 52,5(j-1)] \quad (3.9)$$

где  $j$  - порядковый номер отбираемой пробы. Поправочные коэффициенты и расчетное время контакта приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 — Содержание кальция в фильтрате при изменении времени фильтрования и концентрации диоксида углерода и кислот

Время фильтрования $\tau_{\text{к}}$ , мин	Содержание кальция в фильтрате при дозировке, мг/л								
	CO <sub>2</sub>			HCl			H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		
	30	44	60	30	44	60	30	44	60
1,36	9,2	10,0	12,0	18,0	22,0	32,5	17,5	20,4	28,0
2,74	13,5	15,5	17,5	22,5	32,0	46,0	21,0	29,8	40,5
4,14	17,8	20,4	26,0	26,3	38,0	51,2	24,6	36,2	47,8
5,56	20,5	24,0	29,2	29,0	42,2	55,0	27,7	39,5	50,0
8,46	22,7	28,2	33,5	30,8	44,0	56,7	29,0	41,0	51,4
11,46	24,0	31,5	37,0	31,5	45,0	58,0	29,5	42,5	54,2
14,43	25,2	33,0	40,2	32,0	45,0	59,2	30,0	43,0	56,0

Во всех опытах поддерживалась температура 23°C. Концентрация диоксида углерода в исходном дистилляте, и концентрация ионов кальция в пробах определялись по стандартным методикам. Скорости фильтрования варьировались с 6,45 м/ч до 116,1 м/ч. Основным контролируемым параметром во всех опытах является концентрация ионов кальция в анализируемой пробе. Целью данных опытов являлось также определение наличия количественного скачка интенсивности растворения карбоната кальция при переходе от стационарного к кипящему фильтрующему слою. При скорости фильтрования свыше 80 м/ч наблюдается режим кипящего слоя.

Каждый опыт повторялся трижды и определялось среднее значение концентрации ионов кальция в фильтрате. На основании представленных



данных выявлена закономерность затухания влияния скорости фильтрования на процесс обогащения опресненной воды по мере возрастания концентрации диоксида углерода в исходном дистилляте. Так, прирост ионов кальция в фильтрате ( $\Delta C_{Ca}$ ) при времени фазового контакта 10-20 мин за счет увеличения скорости фильтрования при исходной концентрации агрессивной углекислоты 1 мг-экв/л составляет около 13%; при 2 мг-экв/л - 10,5%; при 3 мг-экв/л - 9,3%, при 12 мг-экв/л - 3,7%, а при 30 мг-экв/л агрессивной углекислоты только 0,4%.

Кислоты (серная, соляная и угольная) готовили в форме растворов концентрацией 60, 44, 30 мг/л. Через определенные интервалы времени брались пробы фильтрата, чтобы выявить концентрации кальция. Фильтрование пермеата выполнялось со скоростью 6 м/ч. Высота фильтра определяла время контакта. Данные опыта указаны в таблице 3.1.

Результаты опытов показывают, что содержание кальция увеличилось в результате применения серной (в 1,23-1,19) и соляной (1,31-1,27) кислот. Длительность реакции равна в среднем 12-14 мин. Длительность реакции сильной кислоты с карбонатной загрузкой составляет 1,5 мин. Итогом данного взаимодействия является выделение слабого диоксида углерода, который в результате реакции делает карбонатный фильтрат хлоридным или сульфатным.

Допустимое содержание концентраций хлоридов и сульфатов в питьевой воде регламентируются нормативам ГОСТ 2874-82, ВОЗ, ЕЭС. Предельно-допустимые концентрации лимитирующих ингредиентов показаны в таблице 3.3.

Таблица 3.3 — Предельно-допустимые концентрации лимитирующих ингредиентов

Ингредиенты	Допустимое содержание, мг/л		
	ГОСТ 2874-82 «Питьевая вода»	Международные стандарты питьевой воды (Женева, 1973)	стандарты питьевой воды ЕЭС (optim)
Солесодержание	≤1000	500÷1500	≤1500
Ж, мг-экв/л	≤7	2÷7	≥3
Хлориды Cl <sup>-</sup>	≤350	200÷600	≤25
Сульфаты SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	≤500	200÷400	≤25
Кальций Ca <sup>2+</sup>	-	75÷200	≤100
Магний Mg <sup>2+</sup>	-	30÷150	≤30

В результате полученных экспериментальных данных обогащения опресненной морской воды при одновременном использовании двух минеральных кислот и диоксида углерода выявлены реагенты, регулирующие солесодержание (таблице 3.4).

Таблица 3.4 — Сравнительные показатели воды при применении минеральных кислот и диоксида углерода

Варианты	Концентрации вводимых реагентов, мг/л	Жпос., мг-экв/л	Жвр, мг-экв/л	HCO <sup>3-</sup> , мг/л	Cl <sup>-</sup> , мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , мг/л	Солесодержание, мг/л
Диоксид углерода	40мг/лCO <sub>2</sub>	0	1.55	95.0	0	0	31.0	126.0
	52мг/лCO <sub>2</sub>	0	1.8	109.0	0	0	36.0	145.0
Минеральные кислоты	26 мг/л HCl+14мг/л H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> =40 мг/л	1.0	1.0	61.4	25.0	13.7	40.2	142.0
	26 мг/л HCl+26мг/л H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> =52 мг/л	1.25	1.25	76.4	25.0	25.0	50.1	176.4
Норматив		Жпос.+Жвр≥2		-	≤25	≤25	≥40	≥150

### 3.1.1. Методика проведения опытов

Цели научного опыта:

- исследовать влияние дозировки  $H_2SO_4$  в опресненную воду, отфильтрованную через ракушечник, на концентрацию кальций-иона;
- опытным путем определить критерии подготовки опресненной воды, содержащей гидрокарбонат кальция, с целью доведения ее до требований СанПиН 2.1.4.1074-01; СанПиН 1.2.3685-21.

Экспериментальные исследования для насыщения имитата пермеата  $Ca(HCO_3)_2$  проводились на установке (рисунок 3.1). Фильтрация выполнялась через фильтрующую загрузку из дробленого ракушечника высотой 875 мм. Свойства ракушечника приведены в таблице 3.5. Диаметр фильтра 30 мм. При проведении эксперимента скорость фильтрации поддерживалась 7,5 м/ч, а длительность прохождения в загрузке имитата пермеата составляла 7 мин.

Таблица 3.5 — Свойства природного ракушечника

Показатель	Величина показателя
Крупность, мм	0,5-5
Эквивалентный диаметр, мм	1,52
Коэффициент неоднородности, отн.ед.	4,33
Порозность загрузки, отн.ед.	0,47
Насыпной вес, т/м <sup>3</sup>	1,8

До проведения научного опыта ракушечник взрыхлялся до объемного расширения 30-35%. Взрыхление загрузки осуществлялось подачей обратного тока дистиллята в течение 4 мин. В ходе опытов вводились разные дозы серной кислоты. С целью определения таких показателей, как жесткость, щелочность, рН, а также с целью обнаружения катионов жесткости (Ca, Mg, соли серной и соляной кислот) производился забор образцов через каждые 10 мин. Параметры приготовленной воды рассчитывались математически.

### 3.1.2. Полученные результаты работы

Полученные результаты научных экспериментов и рассчитанные показатели водного состава указаны в таблицах 3.5-3.7 и на рисунках 3.2 и 3.3.

Внесение в дистиллят 37-58 мг/дм<sup>3</sup> серной кислоты приводит к увеличению ионов кальция от 27 до 45 мг/дм<sup>3</sup>, солесодержания от 122 до 183 мг/дм<sup>3</sup>. Этот показатель (таблица 3.6) выше минимально допустимой минерализации, установленной ВОЗ в 100 мг/дм<sup>3</sup>. Оптимальный диапазон минерализации для полуаридных зон при опреснении морских вод до качества питьевых определен:

-для гидрокарбонатного класса -250-500 мг/дм<sup>3</sup>;

-для сульфатно-хлоридного класса – 200-400 мг/дм<sup>3</sup>.

Таблица 3.6 — Показатели воды, обработанной гидрокарбонатом кальция и серной кислотой

Показатель и	Опыт 1			Опыт 2			Опыт 3		
	дистиллят		филь- трат*	дистиллят		филь- трат*	дистиллят		филь- трат*
	исх.	37мг/дм <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		исх.	58мг/дм <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		исх.	39мг/дм <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
t, °C	22	22	22	21,5	21,5	21,5	20	20	20
pH, ед.pH	7,60	3,85	7,95	5,95	3,0	7,60	5,30	3,10	7,75
Що, мг- экв/дм <sup>3</sup>	0,1	-	0,80	0,1	-	1,25	0,1	-	1,15
Жо, мг- экв/дм <sup>3</sup>	-	-	1,40	-	-	2,30	-	-	1,85
Жк, мг- экв/дм <sup>3</sup>	-	-	0,80	-	-	1,25	-	-	1,15
Жп, мг- экв/дм <sup>3</sup>	-	-	0,60	-	-	1,05	-	-	0,70
Кислотность, мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,02	0,68		0,10	1,05		0,20	0,85	
Ca <sup>2+</sup> , мг- экв/дм <sup>3</sup>	-	-	1,35	-	-	2,25	-	-	1,80
мг/дм <sup>3</sup>	-	-	27,1	-	-	45,1	-	-	36,1
Mg <sup>2+</sup> , мг- экв/дм <sup>3</sup>	-	-	0,05	-	-	0,05	-	-	0,05
мг/дм <sup>3</sup>	-	-	0,6	-	-	0,6	-	-	0,6

МГ/ДМ <sup>3</sup>									
Na <sup>++</sup> K <sup>+</sup> , МГ- ЭКВ/ДМ <sup>3</sup>	-	-	0,16	-	-	0,13	-	-	0,1
МГ/ДМ <sup>3</sup>	-	-	7,8	-	-	3,0	-	-	2,3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , МГ- ЭКВ/ДМ <sup>3</sup>	-	0,76	0,76	-	1,18	1,18	-	0,80	0,80
МГ/ДМ <sup>3</sup>	-	37,2	37,2	-	57,8	57,8	-	39,2	39,2
HCO <sup>3-</sup> , МГ/ДМ <sup>3</sup>	-	-	48,8	-	-	76,3	-	-	70,2
Σионов, МГ/ДМ <sup>3</sup>	-	-	122	-	-	183	-	-	149
Сухой остаток, МГ/ДМ <sup>3</sup>	-	-	98	-	-	145	-	-	114

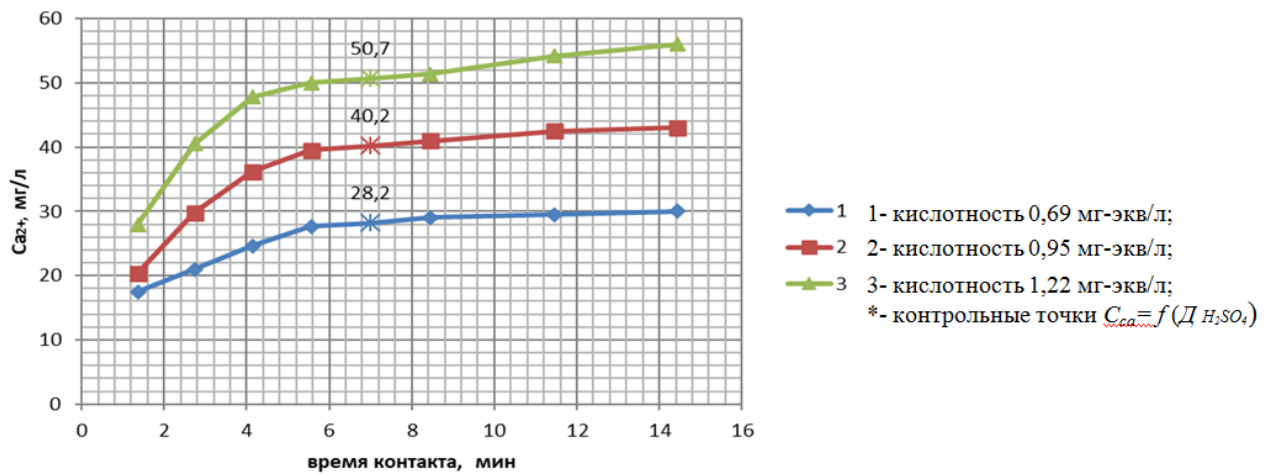


Рисунок 3.2 – График зависимости  $C_{Ca} = f(\tau_{\text{конт}})$  при обогащении опресненной воды ионами кальция с предварительным подкислением серной кислотой

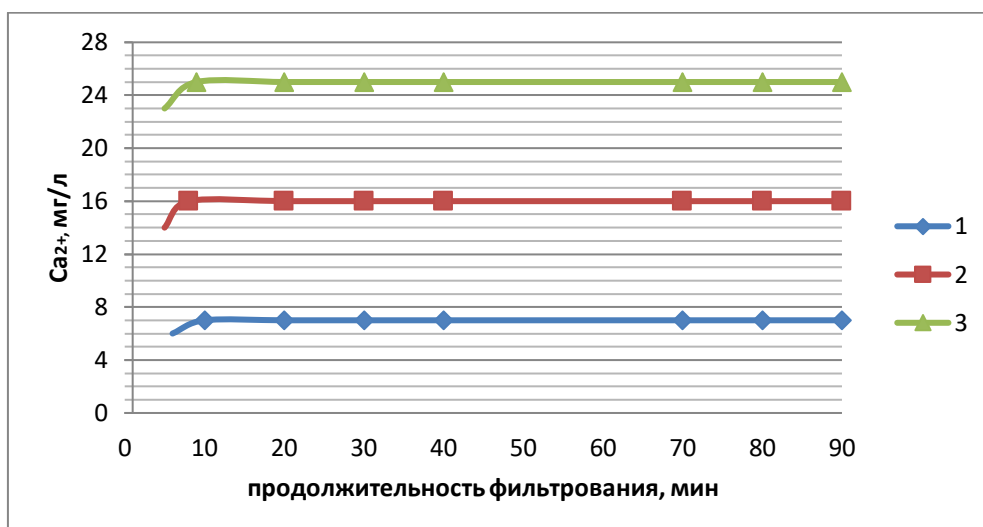


Рисунок 3.3 — Выходные кривые динамики обогащения опресненной воды ионами кальция с предварительным подкислением серной кислотой ( $t_{\text{конт}}=7$  мин,  $t=20-22$  °C)

(1,2,3) кислотность опресненной воды при добавлении серной кислоты соответственно 0,67 мг-экв/л, 0,85 мг-экв/л, 1,05 мг-экв/л.

Таблица 3.7 — Результаты обогащения  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  имитата пермеата II-ой ступени при подкислении серной кислотой

Показатель	Исходный дистиллят <sup>1)</sup>	Имитат пермеата II-ой ступени	Подкисление имитата дозами $\text{H}_2\text{SO}_4$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>				Фильтрат <sup>2)</sup> при подкислении имитата дозой $\text{H}_2\text{SO}_4$	
			0,265 (13 мг/дм <sup>3</sup> )	0,265+0,402 (32,7 мг/дм <sup>3</sup> )	0,667+0,402 (52,4 мг/дм <sup>3</sup> )	1,067+0,4 (71,9 мг/дм <sup>3</sup> )	32,7 мг/дм <sup>3</sup>	71,9 мг/дм <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура $t$ , °C	-	15	17	17	17	17	17	17
Водородный показатель рН	5,3	9,6	9,3	7,3	4,6	3,5	8,4	7,8
Щелочность общая $\text{Щ}_o$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,05	0,45	0,40	-	-	-	0,72	0,92

Жесткость общая Ж <sub>о</sub> , мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,72	1,24
Диоксид углерода СО <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	8,8	-	-	-	-	-	-	-
Хлориды Сl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	25,5	-	-	-	-	-	25,5	-
Кислотность, мг-экв/дм <sup>3</sup>	-	-	-	-	0,25	0,55	-	-

Примечание: 1) – в исходный дистиллят ( $V = 20 \text{ дм}^3$ ) добавлено 6.41 мл 1N раствора NaOH и 854.6 мг NaCl с целью имитации пермеата II-ой ступени ООУ при опреснении морской воды.

2) – загрузка фильтра – ракушечник  $d_3 - 0.5-3 \text{ мм}$ ,  $v_f = 7.1 \text{ м/ч}$ .

Обогащение имитата пермеата II-ой ступени ООУ кальцием. Для экспериментальных исследований эффективности процесса обогащения кальцием с использованием загрузки ракушечника был приготовлен имитат пермеата (II) – ИП (II) из дистиллята  $V = 20 \text{ дм}^3$ . По истечении 1 часа ИП (II) проанализирован по показателям:  $\text{pH} = 9,6$ ; Щ = 0,45 мг-экв/дм<sup>3</sup>; Ж = 0,02 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Температура имитата 15°C. Наличие в имитате щелочности в форме  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  (при  $\text{pH} = 9,6$ ) в количестве 0,45 мг-экв/дм<sup>3</sup> требует для ее нейтрализации ( $2\text{OH}^- + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_4^{2-}$ ;  $2\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$  и  $2\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{SO}_4^{2-}$ ) не менее 0,45 мг-экв/дм<sup>3</sup>  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Добавка 10% раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  к 20 дм<sup>3</sup> ИП-II дробно: вначале 0.26 мг-экв/дм<sup>3</sup> привело к снижению pH на 0,3 ед. и затем 0,4 мг-экв/дм<sup>3</sup> (3,7 мл 10% раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на 20 дм<sup>3</sup>) дало эффект снижения pH до 7,3, что свидетельствует о полной трансформации  $\text{CO}_3^{2-}$  - ионов преимущественно в  $\text{HCO}_3^-$  — ионы и частично  $\text{CO}_2$ . Физико-химические показатели имитата:  $t = 17^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH} = 7,3$ ; Щ = 0,4 мг-экв/дм<sup>3</sup>, Ж = 0,02 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Дальнейшая добавка 3,7 мл 10% раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  к 20 дм<sup>3</sup> имитата с  $\text{pH} = 7,3$  дает эффект полного разложения гидрокарбонатов до диоксида углерода. Показатели имитата:  $t = 17^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}$

=4,55; кислотность 0,25 мг-экв/дм<sup>3</sup>, щелочность 0,04 мг-экв/дм<sup>3</sup>, Ж = 0,02 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Этот имитат ( $V = 10 \text{ дм}^3$ ) был профильтрован через модель с загрузкой ракушечника. Предварительно ракушечник был промыт в статических условиях дистиллятом и загружен в колонку – модель фильтра. Параметры процесса обогащения: диаметр модели фильтра – 30 мм, крупность загрузки ракушечника 0,5-3 мм, высота загрузки – 860 мм, время контакта  $\tau_k = 7,2$  мин, скорость фильтрования 7,1 м/ч (84 мл/мин). В фильтрате загрузку ракушечника дополнительно взрыхляли с коэффициентом расширения до 50% дистиллятом в течение 5 мин. Фильтрование имитата с рН=4,55 в течение 2 часов с учетом физического растворения карбоната кальция (0,26 мг-экв/дм<sup>3</sup>) дало результаты с адекватными значениями кальция (жесткости) и щелочности, что свидетельствует о взаимодействии ракушечника только с CO<sub>2</sub>. При значениях жесткости и щелочности в пределах 0,7-0,75 мг-экв/дм<sup>3</sup>, солесодержание около 100 мг/дм<sup>3</sup>, рН 8,3-8,6 дальнейшая добавка к 10 дм<sup>3</sup> имитата рН = 4,55 1,85 мл 10% раствора, т.е 0,4 мг-экв H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/дм<sup>3</sup> привело к рН = 3,5, Ж = 0,02, кислотности 0,55 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Результаты анализа проб фильтрата: рН = 7,85; Ж = 1,24-1,26 мг-экв/дм<sup>3</sup>; Щ = 0,90-0,94 мг-экв/дм<sup>3</sup>. По результатам экспериментов при обогащении опресненной воды были определены дозы серной кислоты, которые необходимы для достижения требуемых показателей обогащения пресной воды кальцием и другими минералами. Основываясь на опытных данных, был составлен график зависимости содержания Ca<sup>+</sup> ионов от дозировки H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (рисунок 3.4). Фильтрование воды осуществлялось в течение 7 мин через ракушечник, температура в условиях проведения эксперимента составляла 20-22°C.



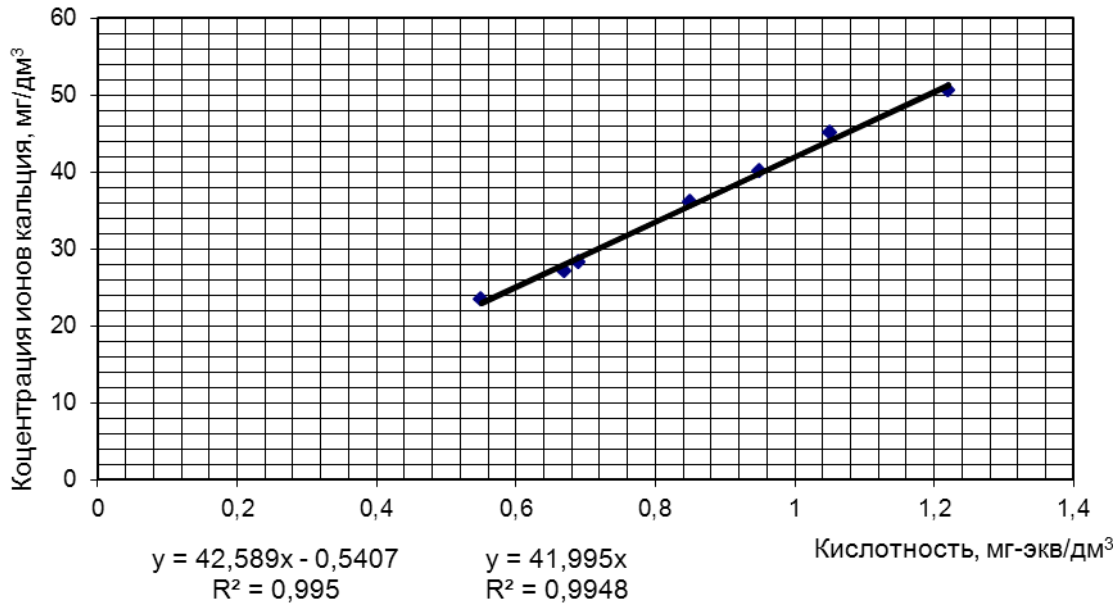


Рисунок 3.4 — График зависимости концентрации ионов кальция от дозы серной кислоты (по кислотности) в процессе фильтрационного обогащения

На графике (рисунок 3.4) по оси абсцисс приведены значения общей кислотности воды с учетом компенсации возможной карбонатной щелочности воды и выделения при этом диоксида углерода.

Обусловленность концентрации Са-ионов и дозировки  $H_2SO_4$  определяется методом наименьших квадратов по линейному уравнению:

$$y_i = a + bx_i, \quad (3.10)$$

где:  $x_i$  — значение кислотности при внесении серной кислоты в I-тый пермеат;  $y_i$  — концентрация ионов кальция в фильтрате, соответствующая  $x_i$  кислотности.

В результате расчета получено уравнение  $y = -0,5407 + 42,589x$ .

Располагая значениями  $x_i$  и  $y_i$ , рассчитывают коэффициенты «а» и «b»:

«а» - отрезок на оси ординат, когда прямая идет не от нуля; «b» - угловой коэффициент, характеризующий угол наклона прямой линии.

Коэффициенты «а» и «b» носят название коэффициентов регрессии, а все расчеты по построению линейного уравнения именуется регрессионным анализом. Коэффициенты «а» и «b» вычисляют по следующим формулам:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = -0,5407 \quad (3.11)$$

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = 42,589 \quad (3.12)$$

где n – число определений.

Если «а» отличается от нуля, проверяют значимость этой величины. Для этого необходимо вычислить значение коэффициента  $t_a = \frac{|a|}{S_a}$ ,

где |а| - найденная абсолютная величина коэффициента «а»,  
 $S_a$  – его стандартное (среднее квадратическое) отклонение.

Стандартное отклонение рассчитывают через дисперсию «а» (квадрат стандартного отклонения) по формуле:

$$S_a^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum x_i)^2} S_y^2 \quad (3.13)$$

$$= \frac{5,4434}{7 \times 5,4434 - (5,98)^2} \times 0,584 = 1,3566$$

где -  $S_y^2$  - дисперсия, характеризующая рассеяние значений «у» относительно прямой, ее величину находят по формуле:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{расч})^2}{n - 2} = \frac{2,92}{7 - 2} = 0,584, \quad (3.14)$$

при этом  $y_i$  – экспериментальное значение концентрации ионов кальция;

$y_{расч}$  – результат, получаемый из уравнения  $y = 42,589x - 0,5407$ .

Из таблицы вероятностей  $P(|t| \geq t_a)$  по распределению Стьюдента находим, что для  $t_a = \frac{0,5407}{1,1647} = 0,464$  и при  $k = 5$  значение  $P \sim 0,67 \gg 0,05$ , т.е.

отклонение «а» от нуля является случайным и величину «а» можно приравнять

к нулю. В этом случае линейное уравнение преобразуется в вид ( $y = bx$ ) прямой, проходящей через начало координат, поэтому угловой коэффициент «b» (исправленный) заново вычисляют по формуле:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i y_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = 41,995, \text{ т.е. } y = 41,995x. \quad (3.15)$$

В таблице 3.8 приведены расчетные результаты физико-химического состава и параметров стабильности при кондиционировании обогащенного гидрокарбонатом кальция пермеата II-ой ступени ООУ опреснения морской воды до питьевого качества.

Для получения солесодержания фильтрата на уровне  $200 \text{ мг/дм}^3$  потребовалось подкисление пермеата II-ой ступени серной кислотой в количестве  $48 \text{ мг/дм}^3$ , а соответствующей концентрации магний-иона на нижнем пределе санитарных требований  $5 \text{ мг/дм}^3$  - применения смешанной загрузки ракушечник (6 частей) + доломит (1 часть).

С учетом концентраций кальций-иона  $1,55 \text{ мг-экв/дм}^3$  общая жесткость обогащенной солями  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{CaSO}_4$  и  $\text{MgSO}_4$  воды составила  $1,98 \text{ мг-экв/дм}^3$ .

Вследствие низкой буферной емкости [81- 83] пермеат II-ой ступени является агрессивным и коррозионно-активным: индекс Ланжелье отрицателен и равен 1,34 ед. рН, индекс Ризнера – 12,28 ед.рН, эмпирические показатели коррозионной активности воды,  $P_2 = \left| \frac{Щ}{Cl^- + SO_4} \right| = 0,11$  в эквивалентном соотношении ниже их предельных значений соответственно 0,45 и 0,35. В процессе обогащения содержание  $\text{Ca}^{2+}$ -иона и гидрокарбонатной щелочности возрастает, при этом снижается равновесное значение рН, равное  $pH_s$  – значению водородного показателя насыщения воды карбонатом кальция. Индекс Ланжелье также понижается до значения – 0,9 ед. при  $pH = 7,65$  и способности преципитации углекислого кальция ( $- 5,4 \text{ мг/дм}^3$ ). Таким образом, фильтрат после обогащения нестабилен и нуждается в обработке

щелочными реагентами для приведения  $I_L$  и  $\mu_{CaCO_3}$  в область их положительных значений.

При сравнительно низкой щелочности фильтрата  $1,05$  мг-экв/дм<sup>3</sup> и содержании  $Ca^{2+}$   $1,55$  мг-экв/дм<sup>3</sup> для получения индекса Ланжелье на уровне  $+0,3$  ед.рН необходимо подщелачивание до рН =  $8,8$ . При расчетной дозе извести  $1,8$  мг/л (в расчете на CaO) фильтрат стабилизируется:  $I_L = +0,1$  ед. рН,  $\mu_{CaCO_3} = +2$  мг/дм<sup>3</sup>, при дозе кальцинированной соды  $6,5$  мг/дм<sup>3</sup> параметры стабилизации те же. Показатели  $n_1$  и  $n_2$  принимают значения, равные соответственно  $2,15-2,24$  и  $0,61-0,64$ , что свидетельствует о преобладании ингибирующего эффекта  $Ca^{2+}$  и  $HCO_3^-$  - ионов над агрессивным действием  $Cl^-$  и  $SO_4^{2-}$  ионов.

Получение стабильной более физиологически полноценной питьевой воды связано со снижением рН, что потребует использования дополнительного обогащения  $Ca(HCO_3)_2$ , увеличения гидрокарбонатной щелочности. Эту проблему возможно решить применением источников диоксида углерода [84-86].

Таблица 3.8 — Кондиционирование пермеата морской воды до питьевого качества

Показатели	Единицы измерений	Пермеат II ступени	Фильтрат***	После стабилизации		СанПиН 2.1.4.107 4-01	Стандарты ЕЭС		
				известью 1,8 мг/дм <sup>3</sup>	содой 6,5 мг/дм <sup>3</sup>		min	max	opti m
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
Температура	°С	10	12	12	12	-	-	25	12
Водородный показатель при температуре пробы	ед. рН/°С	9,6	7,65	8,6	8,6	6,0-9,0	6,5-8,5		
Щелочность общая	мг-экв/ дм <sup>3</sup>	0,1	1,05	1,11	1,17	≥0,5	-	-	0,5
Мутность	мг/дм <sup>3</sup>	<0,5	<0,5			≤1,5	2,0 ед.(по Джексону)		
Цветность	град.	<<5	<<5			≤20	-	20	5
Жесткость общая	мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,13	1,98	2,04	1,98	≤7,0	-	-	35D F
Жесткость карбонатная	мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,10	1,05	1,11	1,17	-	-	-	-
Жесткость постоянная	мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,03	0,93	0,93	0,8	-	-	-	-
Кальций Са <sup>2+</sup>	мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	0,07 1,4	1,55 31,1	1,61 32,3	1,55 31,1	- 30-140	- 10	-	- 100
Магний Mg <sup>2+</sup>	мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	0,06 0,7	0,43 5,2	0,43 5,2	0,43 5,2	- 5-84	- 5	- 50	- 30
Натрий Na <sup>+</sup>	мг-экв/дм <sup>3</sup> мг дм <sup>3</sup>	0,83 19,1	0,89 20,5	0,89 20,5	1,01 23,3	- ≤200	- -	- 100	- 20
Калий К <sup>+</sup>	мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/ дм <sup>3</sup>	0,04 1,4							

Хлориды Cl <sup>-</sup>	мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	0,72 25,5	0,72 25,5	0,72 25,5	0,72 25,5	- ≤350	- -	- 200	- 5
Сульфаты SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	0,16 7,8	1,1 53,9	1,09 52,4		- ≤500	- -	- 250	- 5
Гидрокарбонаты HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	0,08 4,5	1,05 64,1	1,11 67,7	1,17 71,4	30-450	-	-	-
Карбонаты CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	0,02 0,6		- -	- -	- -	- -	- -	- -
Фториды F <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>			1,2	1,2	1,2-1,5	1,5 при (8-12)°C 0,7 при (25-30) °C		
Бор В (общий)	мг/дм <sup>3</sup>	0,37	0,37			≤0,5	-	≤0,5	-
Диоксид углерода CO <sub>2</sub> -свободный -равновесный -агрессивный	мг/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	- - -	2,7 0,34 2,36	отс отс отс	отс отс отс	- - -	- - -	- - -	- - -
Равновесное значение водородного показателя рНs	ед. рН	10,94	8,55	8,5	8,5	-	-	-	-
Индекс Ланжелье J <sub>L</sub>	ед. рН	-1,34	-0,9	+0,1	+0,1	≥0	-	-	-
Индекс Ризнера J <sub>R</sub>	ед. рН	12,28	9,45	8,4	8,4	6-7*	-	-	6-7*
Щелочность равновесная	мг-экв/дм <sup>3</sup>		1,1			-	-	-	-
Показатель стабильности Пс	отн.ед.		0,95	1,0	1,0	не менее 1	-	-	-

Потенциал осаднения карбоната кальция $\mu_{CaCO_3}$	мг/дм <sup>3</sup>		-5,4			4-10**	-	-	4-10**
Показатели коррозионной активности: $n_1 = \left  \frac{Ca^{2+}}{Cl^-} \right $ $n_2 = \left  \frac{HCO_3^-}{Cl^- + SO_4^{2-}} \right $	отн.ед.	0,10	2,15	2,24	2,15	$\geq 0,45$	-	-	-
		0,11	0,58	0,61	0,64	$\geq 0,35$	-	-	-
Солесодержание	мг/дм <sup>3</sup>	62	201	206	205				

Примечания:

1.\* - в соответствии с эмпирической шкалой Ризнера; 2\*\* - по Колдуэллу-Лоуренсу; 3\*\*\* - фильтрат, полученный после контакта пермеата II-ой ступени, подкисленного серной кислотой (48 мг/дм<sup>3</sup>) с загрузкой ракушечник – доломит в соотношении 6:1.

«отс.» - контролируемое вещество отсутствует в пробе.

### 3.2. Интенсификация фильтрационной кальцинации мягких питьевых вод

В ходе проведения экспериментов по влиянию интенсивности турбулизации на выход кальций-иона при контакте в стационарном объеме реагентов диоксида углерода и кальций карбонатсодержащей высокодисперсной пульпы установлено, что увеличение интенсивности перемешивания реагентов практически мало сказывается на повышении скорости реакции. То есть реакция лимитируется химической кинетикой и константа скорости «К» (3.1) не зависит от состояния потока (ламинарный он или турбулентный).

$$dC/dt=KC^2, \quad (3.16)$$

где К – константа II-ого порядка скорости реакции;

С - концентрация углекислоты;

$\tau$  – Продолжительность динамического контакта карбонизированной воды с кальцийкарбонатсодержащей зернёной загрузкой.

Коэффициент «К» заметно повышается с ростом температуры и увеличением поверхности контакта фаз. Увеличение поверхности чаще всего достигается повышением дисперсности загрузки [87].

Но для фильтрационного способа измельчение зёрен загрузки имеет предел, обусловленный ростом гидравлического сопротивления её, что ведет к замене аппаратов идеального вытеснения на менее экономичные и габаритные аппараты смешения.

Помимо минеральной кислоты также раствор извести способен усиливать процесс обогащения (рис. 3.5) посредством увеличения скорости фильтрования. При этом повышается степень карбонизации дистиллята и нейтрализуется остаточная концентрация диоксида углерода при условии осаждения карбоната кальция в объеме 4-7 мг  $\text{CaCO}_3/\text{дм}^3$ .

Массообменный процесс обогащения дистиллята гидрокарбонатом кальция с применением диоксида углерода и природных известняков, характеризующийся медленной кинетикой, возможно также интенсифицировать



под воздействием электроимпульсных разрядов, дающих эффект повышения растворимости карбонатных материалов, помещенных в воду. При активации электрическими разрядами системы  $\text{CaCO}_3\text{--H}_2\text{O--CO}_2$  концентрация  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  в растворе увеличивается при значительном сокращении времени контакта по сравнению с взаимодействием в стандартных условиях, где реакция  $\text{CO}_2 + \text{CaCO}_3$  тормозится за счет образовавшегося пограничного щелочного слоя на поверхности частиц  $\text{CaCO}_3$ . Установлено повышение концентрации гидрокарбоната кальция до 6,5 мг-экв/дм<sup>3</sup> в системе  $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$  при числе импульсов от 100 до 1000, расстояние между электродами - 20 мм, параметры импульса: U (напряжение)- 180 кВ; C<sub>э</sub> (ёмкость) - 25000 пФ.

Увеличение выхода  $\text{Ca}^{2+}$  при электроимпульсном воздействии на  $\text{CaCO}_3$  происходит в результате интенсивного разрушения кристаллической решетки минерала и повышения скорости гидратации. Так, содержание  $\text{Ca}^{2+}$  в жидкой фазе пульпы ( $\text{CaCO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 1:10$ ) при ее механическом перемешивании в течение 0,5 ч составляет около 25 мг/дм<sup>3</sup>, а при электроимпульсном разряде с числом импульсов от 100 до 300, энергией импульса 123 Дж выход по  $\text{Ca}^{2+}$  находится в пределах 97-272 мг/дм<sup>3</sup>.

Таким образом, электроимпульсный способ влияет на лимитирующую стадию процесса кальцинации, лежащую в кинетической области; при воздействии электрических разрядов увеличивается скорость химической реакции. Существенное значение при этом отводится непосредственной диссоциации молекул ( $\text{CaCO}_3$ ) при столкновениях с электронами и появление высокоактивных атомов [88-91].



Рисунок 3.5 – Классификация способов интенсификации процесса фильтрационной и реагентной кальцинации мягкой воды

### **3.3. Исследования по регулированию микрокомпонентного состава вод**

#### **3.3.1. Очистка питьевой воды от бора**

Высокое содержание бора в природных и сточных водах определяет актуальность исследований по разработке и внедрению эффективного процесса деборации. Бор является биологически активным элементом и относится к весьма токсичным веществам. Длительное потребление питьевой воды с повышенным содержанием бора вызывает ряд заболеваний у человека. [92].

Следует отметить, что в течение многих лет содержание бора в питьевой воде не рассматривалось как важный вопрос, связанный с возможным влиянием на здоровье человека. В 1958, 1963 и 1971 годах в международных стандартах ВОЗ на питьевую воду бор не упоминался. Поскольку в лабораторных исследованиях было показано, что бор вызывает ряд вредных эффектов у животных, временные рекомендации ВОЗ по концентрации бора в питьевой воде были впервые введены в 1993 году на уровне 0,3 мг/л, исходя из уровня отсутствия наблюдаемого вредного воздействия. В 1998 году это значение было увеличено до 0,5 мг/л из-за отсутствия финансово жизнеспособных технологий удаления бора из воды.

Приблизительно 90% загрязнения окружающей среды бором обусловлено деятельностью человека. Среди основных источников загрязнения - стекольная промышленность. Стекланные изделия, такие как боросиликатное стекло и изоляционное стекло, потребляют значительное количество соединений бора, тем самым способствуя антропогенным выбросам бора. Большинство коммерчески доступных огнестойких материалов также производятся с использованием бора в качестве важной добавки. В керамике бораты играют важную роль в процессе производства во время стеклования при низких температурах. В жидкокристаллических дисплеях поляризатор изготавливается путем сшивания поливинилового спирта с борной кислотой и йодидом, который

используется в качестве красителя в этом процессе.

На основании экспериментальных данных и результатов натуральных наблюдений принято считать гигиеническим нормативом по бору в питьевой воде концентрацию  $\leq 0,5$  мг/дм<sup>3</sup>, что относит бор ко второму классу опасности.

В некоторых местностях концентрация бора в подземных водах превышает максимально разрешенную более, чем в 6 раз.

В связи с ростом мирового спроса на бор в различных отраслях промышленности и увеличением присутствия следов бора в воде, стандарты качества воды стали более жесткими. Это привело к повышенному интересу исследователей к восстановлению загрязненной бором воды в течение последних нескольких десятилетий. Для удаления борных загрязнений из воды было предложено множество методов, включая различные мембранные технологии, адсорбцию, электрокоагуляцию и химическое осаждение. К сожалению, не существует простого и экономичного метода для решения этой задачи. Большой трудностью в выборе такого метода является тот факт, что бор присутствует в воде в нескольких количествах химических соединений и его концентрация варьируется от места к месту. Методы, обычно используемые для очистки воды, такие как отстаивание, коагуляция или адсорбция на глинах, не эффективны в случае соединений бора. Неэффективна очистка воды биологическими или химическими соединениями, так как они удаляют лишь небольшое количество бора или не удаляют его вообще. Процессы выпаривания, кристаллизации или экстракции растворителя, подходящие только для растворов с высокой концентрацией, более полезны в производстве борной кислоты, чем в процессе удаления ее следов из воды.

Основная цель данной работы - дать представление о значении бора и последних достижениях в исследовании и разработке адсорбционных материалов для деборации водных растворов. Каждый метод систематически объясняется, включая механизм реакции, которому следуют системы, о которых сообщалось в течение последних нескольких лет. Наконец, обсуждаются существующие проблемы в этой области, сфера применения и возможности

разработки новых материалов и систем с улучшенными свойствами.

Сегодня существует множество технологий удаления бора. Наиболее эффективным способом удаления растворенного бора является термическое опреснение, которое может быть реализовано с помощью многоступенчатой флэш или многоэффективной дистилляции. Однако даже с учетом передовых технологий, из-за высокого энергопотребления этот подход больше не поддерживается развитыми странами. В настоящее время рассматриваются различные подходы, каждый из которых отличается уровнем эффективности и возможностью реализации (лабораторные или промышленные подходы). Все эти подходы в основном зависят от двух стратегий: (1) разделение путем сорбции на подложке и (2) разделение путем мембранной фильтрации. Последние исследования также сфокусированы на гибридном подходе, сочетающем сорбцию и мембранную фильтрацию в одном процессе. Эффективность используемых процессов обычно оценивается с учетом двух факторов: 1) коэффициент удаления бора и 2) коэффициент восстановления очищенной воды.

Среди различных технологий удаления бора из воды, процесс адсорбции наиболее часто используется для разбавленных растворов, в то время как ионный обмен и мембранная фильтрация применяются для концентрированных растворов. Соосаждение боратов с помощью карбонатов металлов сильно зависит от pH, в то время как при использовании гидроксидов металлов образуется большое количество осадка.

Соосаждение с использованием гидроксидов в качестве носителя микроэлементов является наиболее часто используемым в неорганическом соосаждении, например,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Mn}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{La}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Zr}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Th}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  и  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ . Это объясняется тем, что гидроксиды большинства металлов нерастворимы в нейтральных растворах pH, что указывает на то, что гидроксидные носители могут предварительно концентрировать большинство металлов. Метод соосаждения характеризуется в научной литературе как простой, экономически эффективный и быстрый процесс, легко переносимый в больших масштабах для промышленного применения. Он позволяет получить

наноматериалы высокой чистоты экологически чистым путем, не требуя опасных органических растворителей, обработки при высоком давлении или температуре.

Тем не менее, некоторые проблемы все еще ограничивают этот метод, такие как контроль размера и формы частиц, кристалличности и магнитных свойств. Так, эффективные в очистке воды от многих химических элементов гидроксиды малоэффективны, поскольку обнаруживают низкую сорбирующую способность по бору.

Мембранные методы составляют вторую группу широко используемых технологий для деборации воды. В основном они применяются для опреснения морской или солоноватой воды. Однако иногда эти технологии не в состоянии снизить содержание бора ниже допустимого уровня, и необходимо вводить в технологическую линию дополнительный процесс. Для удаления остаточной борной кислоты в большинстве мембранных процессов необходимо повысить рН до значения 10-11. В таких условиях борная кислота превращается в бораты, которые подвергаются дальнейшей переработке. Хотя повышение щелочности раствора позволяет удалять бораты с эффективностью 98-99%, высокое значение рН способствует осаждению гидроксидов магния и кальция на поверхности мембраны, явление, известное как "накипь". По этой причине повышению рН обычно подвергают не питьевую воду, а пермеат первой стадии очистки обратным осмосом. Пермеат может быть подщелочен и подвергнут второй стадии обработки RO воды с В-восстановлением. Иногда на этой стадии используется электродиализ или деборация пермеата проводится путем В-комплексования с ионообменными смолами. Использование низкомолекулярных агентов, D-глюконата натрия, D-маннитола открывает следующий подход для удаления бора - использование гибридных систем. Целью эффективного действия любой гибридной системы является присоединение бората к водорастворимым структурам, которые, имея достаточно большой диаметр, могут быть легко отделены с помощью фильтров. Кроме низкомолекулярного глюконата или маннита, можно использовать

поверхностно-активные вещества, водорастворимые полимеры и даже твердые частицы. Нужно учитывать, что повышение уровня рН способствует ухудшению качества мембран.

Недостатком мембранных методов очистки воды является ее опреснение. Поэтому, после мембранной обработки воды требуется ее кондиционирование, для доведения до оптимальных благоприятных значений по физиологическим параметрам и в соответствии с нормами СанПиН.

Смешивание очищенной воды и исходной в пропорции пермеат к исходной воде 9:1, позволит получить содержание бора в воде 0,5 мг/дм<sup>3</sup> при начальной концентрации до 3 мг/дм<sup>3</sup>.

Тем не менее, даже вышеуказанные меры не позволяют получить питьевую воду, соответствующую всем требованиям по солевому и минеральному содержанию. Метод является также неэкономичным, требует большого расхода исходной воды, он не экологичен, поскольку приводит к выбросам в атмосферу.

Применение для очистки подземных вод комплексообразующих ионитов с высокой избирательной способностью к боркислородным соединениям в настоящее время является наиболее приемлемым и эффективным.

Предлагаемый способ очистки воды от анионов солей бора основан на ионном обмене с применением высокоселективных анионообменных смол.

Смолы, содержащие лиганды с тремя или более гидроксильными группами, расположенными в цис-положении, так называемые "Vis-дио́лы", проявляют высокую селективность к бору, в то время как эти группы не реакционноспособны по отношению к обычным металлам и другим элементам. Селективная сорбция этих смол обусловлена реакциями, характерными для бора. Молекулы полиоксидных соединений связываются через образование эфиров борной кислоты с комплексами борного или боратного аниона с протоном в качестве противоиона. Полученные результаты показывают, что присутствие третичной аминной группы является критическим для хелатирования бора. Она захватывает протон, освобождающийся при комплексообразовании бората с гидроксильными функциями. В соответствии с этими выводами были начаты

исследования по созданию В-селективных смол. Большинство синтезированных смол было получено путем модификации N-метил-D-глюкаминол (NMDG) сополимера стирола и дивинилбензола. Функциональные группы этих смол захватывают бор посредством ковалентного присоединения и образуют координационный комплекс. На рынке доступны следующие смолы Amberlite IRS 743 (Rohm & Haas Corporation), BSR1 (Dow Chem), Purolite S-108 (Purolite International), Diaion CRB 03 и Diaion CRB 05 (Mitsubishi Corporation, Япония). Эти материалы способны селективно удалять бор с эффективностью 93-98% даже из сильно минерализованных растворов. Изучение синтеза борселективной смолы с функциональными свойствами, отличными от НМДГ, привлекало внимание исследователей в течение последних двух десятилетий. Дополнительным плюсом применения смол является их нетоксичность, механическая прочность, воспроизводимость. Смолы иностранных компаний-производителей отличаются дороговизной. В последние годы российские ученые разрабатывают отечественные аналоги. Принцип работы как иностранных смол, так и российских сорбентов заключается в извлечении биологически активных веществ (обезборивании) воды и сохранении его макрокомпонентного состава [93-96].

Вода, обработанная смолами, в целом сохраняет свой химический состав, ее можно употреблять сразу после очистки, так как она не требует дополнительного кондиционирования в отличие от воды, очищенной через мембраны. Применение смол позволяют очистить воду при рН от 1 до 13 и значительной концентрации оксоборатов. В условиях проведения эксперимента обменная емкость смолы по бору составляет 350 мг-экв/дм<sup>3</sup>. В зависимости от начальной концентрации соединений бора «начало проскока» борат-ионов начинается при 650-700 относительных объемах отфильтрованной воды.

Для подтверждения теоретических исследований и выполненных расчетов были проведены экспериментальные исследования по определению емкости ионообменной смолы. Экспериментальные исследования проводились при постоянном фильтровании. Результаты применения загрузки смолой марки 108 -



S, показали, что ионный обмен (по В) – регенерации, работает в течение 6 лет. Данный метод показал высокую эффективность деборации и возобновляемость обменной емкости смолы. Догрузка осуществлялась в количестве 3% от общего объема один раз в год. Емкость селективной смолы восстанавливалась в достаточной степени.

В качестве объекта исследования была использована вода из артезианской скважины в Воронежской области. Анализ был выполнен по органолептическим и по физико-химическим показателям.

При определении значений по органолептическим показателям было установлено, что цветность составляет 10 град, запах - 1 балл привкус -1 балл. Следовательно, подземная вода соответствует требованиям СанПиН, при этом показатели ниже рекомендуемых.

При анализе исходной воды по физико-химическим показателям было установлено, что подземная вода относится к мягким водам гидрокарбонатного класса натриевой группы с низкой жесткостью [97]. Содержание химических элементов в воде показано в таблице 3.9.

Таблица 3.9 — Содержание химических элементов в воде

<b>параметры</b>	<b>Числовой показатель</b>
Жесткость	1,1 мг-экв/дм <sup>3</sup>
Содержание кальция	14 мг/дм <sup>3</sup>
Щелочность	5,2 мг-экв/дм <sup>3</sup>
Концентрация натрия(+калий)	214,1 мг/дм <sup>3</sup>
Общая минерализация	767 мг/дм <sup>3</sup>
Перманганатная окисляемость	0,39 мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
pH	8,2
Содержание железа	0,62 мг/дм <sup>3</sup>
Содержание фторидов	1,59 мг/дм <sup>3</sup>
Содержание диоксида углерода	1,7 мг/дм <sup>3</sup>
Индекс ланжелье П	-0,18(<+0.3)
Показатель стабильности Пс	0.99
Потенциал осаждения карбонат кальция $\mu_{CaCO_3}$	-3.9(<<+4-10 мг/дм <sup>3</sup> )
Индекс Ризнера IR	8.56(>6)
Содержание бора	3.1 мг/дм <sup>3</sup>

Таким образом, в исследуемой воде превышено содержание бора более чем в 6 раз. Предельно допустимая концентрация бора в воде согласно СанПиН составляет  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ . Кроме того, показатели содержания железа также выше допустимой нормы, а содержание кальция в 2 раза ниже. По этой причине перед использованием грунтовую воду необходимо довести до нужной кондиции для того, чтобы вода соответствовала всем санитарным требованиям. Этапы обработки включают в себя процессы в следующей последовательности:

обезжелезивание → очистка от бора → кальцинирование → стабилизация → обеззараживание

Первым этапом обработки воды идет этап удаления железа. В фильтрах очистки от железа вода насыщается кислородом, получаемым благодаря предусмотренному процессу эжектированию воздуха при подаче воды из источника.

Затем вода подается в анионитовые фильтры, на которых происходит процесс деборации. В фильтры предварительно загружается смола S108, являющаяся селективной по бору. Ее высокая селективность позволяет обеспечить обменную емкость по бору  $3,8 \text{ г/дм}^3$  ( $0,35 \text{ г-экв/дм}^3$ ) при сохранении исходного состава воды по основным анионам ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ). Функциональной группой являются комплексные амины, рабочий диапазон значений  $\text{pH} = 1 - 13$ .

Следующий шаг – кальцинирование воды путем дозирования известкового раствора и диоксида углерода. Кальцинирование – немаловажный этап в процессе кондиционирования воды, в которой содержание данного элемента (Ca) ниже нормы. Недостаточное потребление кальция не менее опасно для здоровья человека, чем чрезмерное. Адекватное потребление кальция необходимо для роста костей и зубов, вместе с витамином D, и последующей профилактики остеопороза. Жесткая вода может способствовать укреплению костей и зубов благодаря высокой концентрации кальция. Следовательно, недостаточное потребление кальция, в первую очередь, является фактором риска развития остеопороза. Таким образом, артезианскую воду необходимо обогатить

кальцием до минимально допустимого санитарно-гигиенического порога в 30 мг/дм<sup>3</sup>.

В завершение технологического цикла воду обеззараживают. Для этого используется ультрафиолетовая лампа.

Адсорбция хелатными адсорбентами для удаления бора в определенной степени эффективна. Однако, несмотря на превосходные адсорбционные характеристики по отношению к бору, многие адсорбенты нанометрового размера трудно отделить в крупномасштабной операции. Адсорбция также приводит к образованию богатых бором рассолов после регенерации. Регенерируемость адсорбента также вызывает большую озабоченность. Для адсорбентов на основе глины процесс регенерации нерентабелен. Следовательно, адсорбенты на их основе в основном одноразовые, что предполагает, что адсорбенты, содержащие бор, будут отделены после процессов и станут твердыми отходами. Адсорбенты на основе оксидов металлов при регенерации могут быть растворены в кислоте и основании, что приводит к снижению их адсорбционных свойств. Следовательно, возможность повторного использования и целостность композитов на основе оксида металла ограничена в существующих отчетах. Определение характеристик бора в водных растворах также является сложной задачей. Из-за его малого размера при анализе видов бора могут возникать помехи от других ионных видов.

Исследовательские интересы заключаются в разработке эффективных, долговечных, перерабатываемых и экономически выгодных адсорбентов, которые могут быть использованы как в лабораторных, так и в крупномасштабных проектах по удалению бора. Некоторые предложения по повышению эффективности адсорбентов включают (1) разработку адсорбентов, способных улавливать бор при естественном pH (для уменьшения количества добавляемых химикатов), (2) повышение борной специфичности сорбента, (3) разработку методов эффективной деборации из концентрированных растворов, и (4) эффективную регенерацию адсорбента после адсорбции для повторного использования. Будущие исследования в этой области могут быть улучшены за

счет (1) разработки новых полимерных опор для закрепления хелатирующих агентов для эффективного удаления бора; (2) разработки новых сложных функциональных групп, которые могут быстро и эффективно хелатировать бор при различных значениях pH; (3) разработки недорогих сорбентов из природных материалов, таких как биополимеры и сельскохозяйственные отходы; и (4) разработки гибридных технологий, где различные методы разделения могут сочетаться с адсорбцией для повышения эффективности удаления бора.

Итак, производство воды с низкой концентрацией этого элемента все еще является большой проблемой. В связи с неблагоприятным воздействием на сельскохозяйственные культуры, а также на физиологию человека Всемирная организация здравоохранения ввела стандарты, определяющие допустимую концентрацию бора. Для выполнения рекомендаций ВОЗ был начат интенсивный поиск новых материалов и методов разделения. Поиск дешевых методов разделения привел к разработке гибридных систем. Поиск новых методов удаления бора все еще продолжается. Некоторые новые методы уже разработаны, другие все еще находятся в зачаточном состоянии. На данном этапе исследований нелегко предсказать, какие из них будут коммерциализированы в ближайшем будущем.

### 3.3.2. Очистка питьевой воды от стронция фильтрационным методом с применением клиноптилолита в $\text{Na}^+$ -ионной форме

Стронций является очень реактивным химическим элементом и относится к щелочноземельным металлам. Из-за своего реактивного характера он всегда встречается в комбинации - в основном в виде водорастворимой соли. Он вступает в прямые реакции с кислородом, азотом, галогенами и серой. На сегодняшний день известно около двухсот минералов, содержащих стронций.

Этот элемент проникает в более глубокие, водоносные пласты путем выщелачивания выветрившихся минеральных пород. Для образования соединений стронция требуются слабокислые или основные условия. Низкое значение pH благоприятствует образованию карбоната (карбоната стронция). В почве стронций соединяется с азотом (аммоний, нитрат, нитрит). Небольшое количество стронция поступает из частиц пыли в воздухе и оседает в поверхностных водах.

Почти все критические значения возникают по вине человека. Прямой сброс промышленных стоков в реки и ручьи, незаконные свалки и летучая зола из мусоросжигательных заводов, обогащают воздух, почву и, в конечном итоге, грунтовые воды. Через этот цикл элемент достигает животных и растений, чтобы накапливаться там.

Стронций также содержится в небольших количествах в организме, но исследований о его биохимической пользе было проведено мало. Поступление стронция через пищу невелико; к продуктам, содержащим стронций, относятся питьевая вода, молоко и листовые овощи. Ежедневное потребление 0,8 - 5 мг совершенно безвредно. Однако, при долгом использовании воды с повышенной концентрацией стронция у человека развиваются болезни. Стронций оказывает токсичное воздействие на организм человека, провоцирует ожоги слизистых и кожи, вызывает кишечно-желудочные заболевания, а также способен парализовать. Когда концентрация стронция в воде превышает 1,5 мг/л (референтный уровень для здоровья), он может попасть в кровь и заменить кальций в костях, делая кости хрупкими и в конечном итоге приводя к развитию

стронциевого рахита. Стронций особенно опасен для детей и, в большей степени, младенцев, поскольку их организм имеет более высокую скорость всасывания в кровотоки и одновременно более высокие темпы роста костей, чем у взрослых. Данные заболевания характеризуются хрупкостью и уродством костей. Лимитирующий показатель вредности Sr-санитарно-токсикологический.

Опасность заключается главным образом в его чрезвычайной долговечности - период полураспада составляет около 30 лет. Показательными заболеваниями являются опухоли и лейкемия.

В последние годы в РФ используется все больше питьевой воды с повышенным содержанием стронция, превышающем допустимый показатель в 5-20 раз. В этой связи стала актуальной проблема очищения воды от стабильного стронция. Высокое содержание стронция находят в Черноземье, в западных регионах России, в Поволжье и пр. Наблюдается закономерность: чем глубже скважина, тем больше содержание стронция в воде.

В результате изучения данной проблемы отечественными и иностранными учеными была выявлена актуальность проблемы очистки воды от стабильного стронция. Существует очень мало работ на тему смягчения воды, в которых говорилось бы именно о стронции, поэтому существует настоятельная потребность в информации по очистке.

Среди различных методов, используемых для удаления вредных элементов из раствора, сорбция неорганическими адсорбентами, такими как природные цеолиты, является наиболее подходящей для удаления радионуклидов. С технологической точки зрения цеолиты удобны благодаря высокой эффективности адсорбции в относительно большом диапазоне pH, быстрой кинетике адсорбции и химической, радиологической и термической стабильности. Кроме того, они являются обычными недорогими минералами. Вариации в химическом составе клиноптилолитов из различных месторождений, а также существенные различия в их сорбционных свойствах часто вызывают необходимость индивидуального исследования конкретного исходного материала с целью их эффективного применения [98].

Данный метод показал свою эффективность в удалении радиоактивного стронция в небольших системах водоснабжения. В этом процессе умягчение воды происходит с помощью метода ионного обмена. Ионы кальция и магния заменяются ионами натрия. Замененные ионы образуют осадок, в котором также присутствуют радиоактивный стронций. Этот процесс позволяет удалить до 95% радиоактивных элементов в виде осадка.

*Постановка задачи* Стабильный стронций содержится в подземной воде в количестве до 30 мг/дм<sup>3</sup>, что существенно превышает санитарно-гигиеническую норму (7,0 мгSr<sup>2+</sup>/дм<sup>3</sup>).

Цель данного исследования – изучить эффективность сорбента клиноптилолита при поглощении стабильного стронция в жесткой подземной воде, определить кинетику и сорбционные равновесия стронция клиноптилолитом для получения математических моделей этих процессов. Полученные уравнения могут помочь в оценке равновесия металл-катион-сорбции и кинетических параметров для прогнозирования оптимальных условий использования цеолитов для очистки питьевой воды и сточных вод. Конечной целью данного исследования было применение клиноптилолита в качестве проницаемого реактивного барьера для удаления загрязнения Sr<sup>2+</sup> из подземных вод.

Данная исследовательская работа основана на технологии, созданной Никашиной В.А. и Зайцевой Е.В. и защищенной патентом № РИ 2032626 С1. Однако, в указанном патенте нет данных о зависимости эффективности сорбции клиноптилолита от катионов жесткости воды. В результате данной работы следует выявить:

- длительность фильтроцикла по Sr<sup>2+</sup> при очистке жесткой воды до уровня предельно-допустимой концентрации;
- динамическую обменную емкость по Sr<sup>2+</sup>;
- селективность загрузки по Sr<sup>2+</sup> при повышенном содержании Ca<sup>2+</sup> в подземной воде.

*Методика эксперимента* для очистки от стронция использовался

клиноптилолит Холинского месторождения. Цеолитсодержащий сорбент производится ПО «Заря» по ТУ 6-00-04873044-102-93 для очистки питьевой воды. Отбор цеолита производится на стандартных ситах, необходимая крупность фракции по ТУ составляет 0,5-1 мм. Такая же крупность использовалась в данном исследовании. Для того, чтобы избежать пристенный эффект в ходе фильтрации были установлены и выполнены следующие условия: диаметр модели фильтра соотносился с диаметром зерна цеолита не менее, чем 1:15.

Лабораторные исследования были выполнены при помощи фильтра диаметром  $d_f=16$  мм, высота загрузки  $h_{кл}=550$  мм. Объем загрузки клиноптилолита составлял  $V_{кл} = 1 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>. Предварительно загрузка была обработана следующим образом:

- загрузка очищалась водой от пыли методом взрыхления (вода подавалась снизу-вверх) с интенсивностью 3-4 дм<sup>3</sup>/ (с·м<sup>2</sup>) при обеспечении 50%-ного расширения загрузки в течение 10 мин;

- клиноптилолит «заряжали» в рабочую Na-ионную форму путем пропуска регенерационного раствора 0,5N поваренной соли (30 г/дм<sup>3</sup>) со скоростью 0,5 м/ч (с удельным расходом  $q= 1,7$  мл/мин). Общее количество пропущенного раствора NaCl составляло 1,0 относительных объемов;

- затем «отмывали» клиноптилолит водопроводной водой снизу-вверх с интенсивностью 3-4 дм<sup>3</sup>/ (с·м<sup>2</sup>), до прозрачной отмывочной воды.

Жесткость воды, используемой в эксперименте, была предварительно повышена путем взаимодействия дозировки расчетного количества раствора оксида кальция и углекислоты. Требуемое содержание стронция достигалось за счет растворения в имитате нитрата стронция [99-102].

Осредненный состав имитата, используемого в эксперименте, по основным макрокомпонентам представлен в таблице 3.10. Приготовленный имитат фильтровали через модель с загрузкой клиноптилолита с линейной скоростью 3-4 м/ч (объемный расход до 12 мл/мин). Спустя определенные временные отрезки отбирали образцы фильтрата (по 500 мл), в которых определяли концентрацию



Sr<sup>2+</sup>, Ж<sub>о</sub>.

Таблица 3.10 — Физико-химический состав подземной воды после внесения гидрокарбоната кальция и нитрата стронция (имитат)

Показатели	Имитат	СанПиН 2.1.4.1074-01
Температура, °С	15	-
Водородный показатель при температуре пробы, ед.	7,4	6,0-9,0
Щелочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	6,9 ±0,4	≥ 0,5
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	<<0,5	≤ 1,5
Цветность, град.	<1	≤ 20
Жесткость (Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> ), мг-экв/дм <sup>3</sup>	10±0,3	≥ 7,0
Кальций Ca <sup>2+</sup> , мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	7,1±0,2 1 42,3±4	- 30-140
Магний Mg <sup>2+</sup> , мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	2,9 35,3	- 5
Натрий Na <sup>+</sup> , мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	0,3 6,9	- 200
Калий K <sup>+</sup> , мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	0,03 1,2	- -
Хлориды Cl <sup>-</sup> , мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	1,85 65,6	- 350
Сульфаты SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	1,79 86	- 500
Гидрокарбонаты HCO <sup>-3</sup> , мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	6,9 421	- 30-450
Нитраты NO <sup>-3</sup> , мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	0,73 45,3	- 45
Стронций Sr <sup>2+</sup> , мг-экв/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	0,73 32	- 7
Железо (суммарно) Fe, мг/дм <sup>3</sup>	0,45±0,05	0.3
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	625	1000

Результаты экспериментальных исследований показывают в фильтрате зависимости остаточной концентрации жесткости, стронция от количества относительных объемов пропущенной воды к объему загрузки, отображенные на построенных кривых по результатам проведенного эксперимента. Выходные кривые  $C_{(Ж, Sr^{2+})} = f(V_{отн})$  указаны на рис. 3.9 и 3.10.

Из рисунка 3.9 видно, что чтобы снизить жесткость до допустимых норм необходимо пропустить 105 относительных объемов на объем загрузки, для уменьшения жесткости до начальных показателей следует пропустить 180 относительных объемов. Содержание кальция тоже возвращается на первоначальные показатели. Стоит отметить, что содержание стронция при таких объемах (180 отн.об/об.загр.) сохраняется ниже допустимой нормы, из чего следует вывод, что клиноптилолит селективен по стронцию.

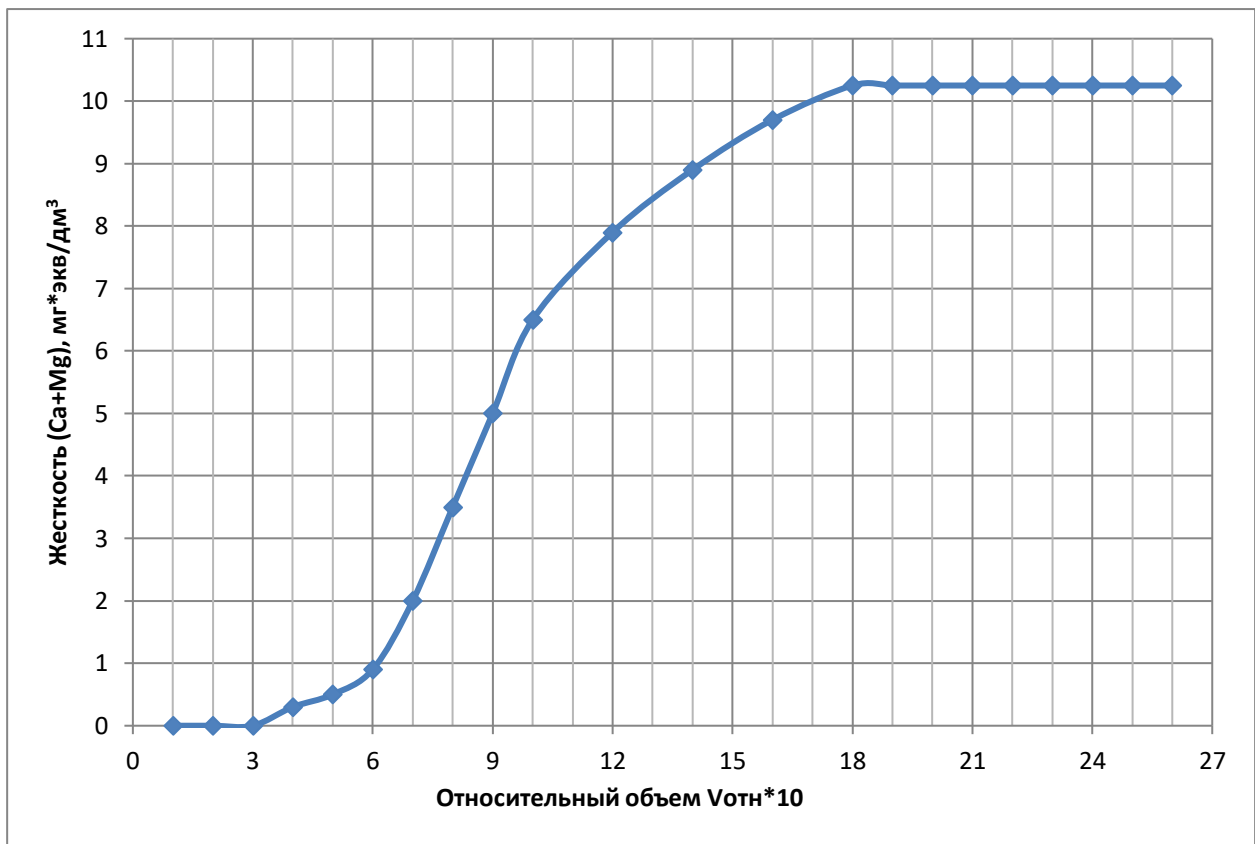


Рисунок 3.9 — Выходная кривая зависимости жёсткости от относительного объёма профильтрованной подземной воды (исходная жёсткость-10,25 мг-экв/дм<sup>3</sup>)

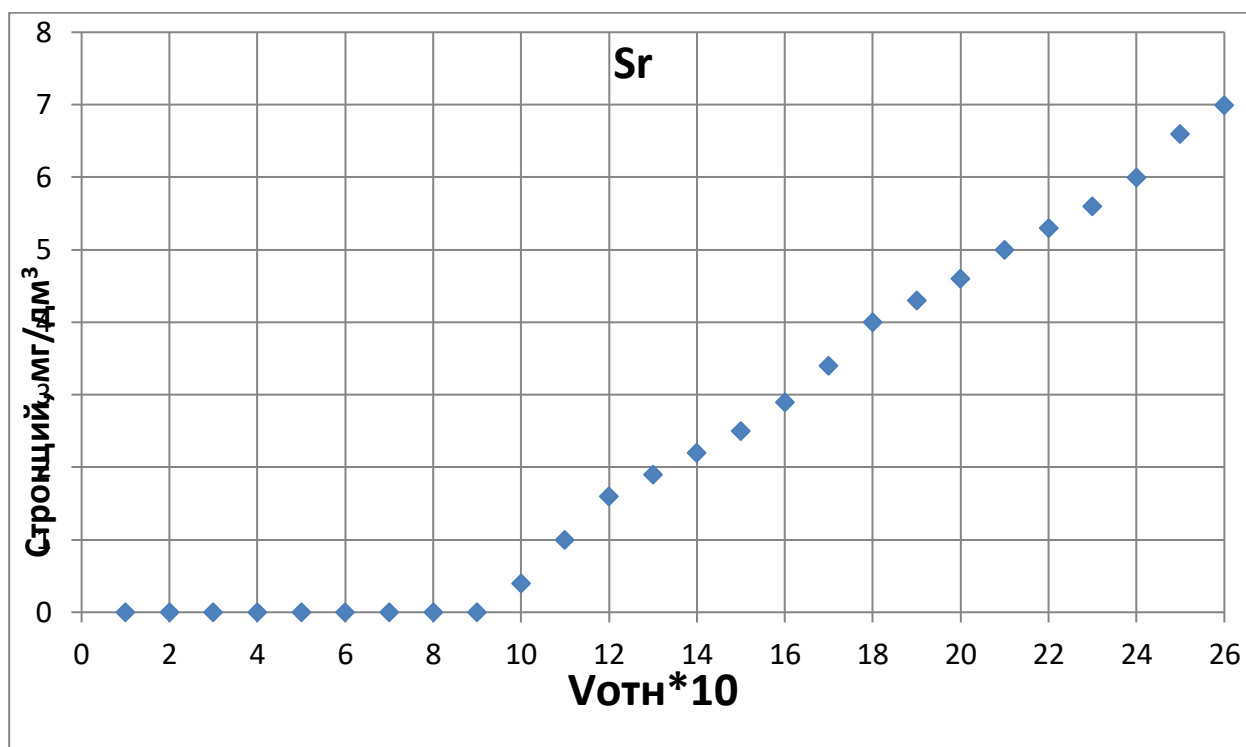


Рисунок 3.10 — Выходная кривая зависимости концентрации стронция от относительного объема профильтрованной подземной воды (исходная концентрация Sr -32 мг /дм<sup>3</sup>)

Обеспечение санитарной нормы фильтрата по стронцию (7 мг/дм<sup>3</sup>) в динамике может быть достигнуто при пропуске 260 относительных объемов воды на объем загрузки, поскольку объем профильтрованной воды возрастает более чем в 1,4 раза (рисунок 3.10).

На основании проведенного исследования (рисунок 3.10) установлена ДОЕ клиноптилолита по стронцию при условии, что его концентрация в фильтрате составляет 7 мг/дм<sup>3</sup>, при его начальной концентрации - 32 мг/дм<sup>3</sup>.

$ДОЕ_{Sr} = 9 \cdot 32 \text{ мг/дм}^3 + 17 \text{ дм}^3 \cdot (32 \text{ мг/дм}^3 - 7 \text{ мг/дм}^3) + 17 \cdot 7/2 = 288 + 425 + 59,5 = 772,5 \text{ мг}$ ,  
или выраженная в мг-экв/л загрузки ( $\mathcal{E}_{Sr} = 43,8 \text{ мг}$ )

$ДОЕ_{Sr} = 772,5 / (438 \cdot 0,1) = 176,4 \text{ мг-экв}/(\text{дм}^3 \text{ загрузки})$

Ионный обмен катионов жесткости на клиноптилолите для фильтроцикла в 260 объём/объём влияет на концентрацию иона натрия, а именно увеличивает его содержание примерно на 3 мг-экв/дм<sup>3</sup> (69 мг/дм<sup>3</sup>).

В процессе эксперимента было отмечено повышение pH фильтрата

( $\Delta_{\max}=0,6$  ед.рН) по причине насыщения имитата кислородом и его декарбонизации. В данном опыте использовался имитат, в состав которого входило двухвалентное железо концентрацией до  $0,5$  мг/дм<sup>3</sup>.

В ходе эксперимента железо (II) окислялось и гидролизировалось в гидроксид железа (III), что негативно воздействовало на работу загрузки клиноптилолита в фильтре, уменьшая ее эффективность.

ДОЕ клиноптилолита по общей жесткости при условии ее восстановления в фильтрате до исходной (рисунок 3.9):

$ДОЕ_{\text{ж}}=3\text{дм}^3 \cdot 10,25\text{мг-экв/дм}^3 + 15 \cdot 10,25/2 = 30,75 + 76,88 = 107,63\text{мг-экв/0,1дм}^3$  загрузки или отнесенная к дм<sup>3</sup> загрузки.  $ДОЕ_{\text{ж}} = 1076,3$  мг-экв/дм<sup>3</sup> загрузки [102].

Долевая часть сорбционной емкости клиноптилолита от сорбируемой жесткости составляет:  $176,4:1076,3=0,164$ , или выраженная в процентах 16,4%.

В усредненном образце фильтрата в объеме  $26$  дм<sup>3</sup>, полученных за фильтроцикл (до  $C_{\text{Sr}} = 7$  мг/дм<sup>3</sup>, содержание стронция составляет (рисунок 3.10))

$$C_{\text{Sr}} = [9 \text{ дм}^3 \cdot 0 + 17 (7)/2] / 26 = 2,3 \text{ мг/дм}^3,$$

Общая жесткость (рис. 3.9):  $Ж = [3\text{дм}^3 \cdot 0 + 15 \cdot (10,25/2) + 8 \cdot 10,25] = 6,1$  мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Итак, для получения концентрации в усредненной пробе, подобной эксперименту Никашиной В.А. (а именно, концентрация стронция в усредненной пробе в самом конце фильтроцикла равнялась  $3,5$  мг/дм<sup>3</sup>, жесткость составила  $7$  мг-экв/дм<sup>3</sup>), в нашем опыте следует увеличить объем усредненной пробы до  $32-33$  дм<sup>3</sup>. Это составит приблизительно  $330$  отн. объемов при концентрации  $\text{Sr}^{2+}$  в фильтрате  $7$  мг/дм<sup>3</sup>.  $C_{\text{Sr}} = [59,5 + 7 \cdot 7] / 33 = 3,3$  мг/дм<sup>3</sup> [101]. В усредненном образце фильтрата жесткость будет равна

$$Ж = (158,9 + 7 \cdot 10,25) / 33 = 6,98 \text{ или } \sim 7,0 \text{ мг-экв/л.}$$

Сопоставление результатов двух опытов, выполненных на подземной воде показано в таблице 3.11.

Таблица 3.11 — Сравнительные данные двух экспериментальных исследований по очистке подземной воды от стронция стабильного на клиноптилолите Холинского месторождения

Параметры	Эксперимент №1	Эксперимент №2
Расход воды на установке, м <sup>3</sup> /ч	0,5	0,72*10 <sup>-3</sup>
Объем загрузки, м <sup>3</sup>	0,28	1,0*10 <sup>-4</sup>
Исходная концентрация стронция в воде, мг/дм <sup>3</sup>	30	30±2
Диаметр фильтра, мм	500	16
Площадь фильтрации, м <sup>2</sup>	0,2	2,0*10 <sup>-4</sup>
Высота загрузки, м	1,4	0,5
Объем пропущенного фильтрата до ПДК до	40	26*10 <sup>-3</sup>
Объем усредненной пробы до достижения концентрации Sr <sup>2+</sup> = 3,5 мг/дм <sup>3</sup> и Ж <sub>об</sub> =7,0 мг-экв/дм <sup>3</sup>	48	33*10 <sup>-3</sup>
Скорость фильтрования, м/ч	2,5	3,6
Относительные объемы фильтрата при концентрации Sr <sup>2+</sup> = 3,5 мг/дм <sup>3</sup>	171	330
ДОЕ клиноптилолита по Sr <sup>2+</sup> , мг-экв/дм <sup>3</sup> загрузки	106	176,4
Фильтроцикл для идентичных условий по высоте загрузки (1,4 м), сут.	4,0	3,9

Итак, таблица 3.11 показывает, что при более высокой скорости (в 1,44 раза) фильтрации имитата с помощью клиноптилолита, а также при более высокой кинетике, обеспеченной использованием более мелкодисперсной фракции ( $d_3 = 0,5-1$  мм), ДОЕ в 1,67 раза выше, чем в опыте Никашиной В.А. ( $d_3 = 0,5-3$  мм). Длительность фильтроцикла в аналогичных условиях эксперимента по высоте загрузки рассчитана на 3,9 сут. Это полностью согласуется с расчетными критериями способа очищения воды от стабильного стронция на клиноптилолите, созданным В.А. Никашиной.

В данном исследовании был использован клиноптилолит Холинского месторождения для извлечения Sr<sup>2+</sup> в образце воды. Были исследованы условия эксперимента и посторонние ионы, влияющие на эффективность поглощения Sr<sup>2+</sup> на клиноптилолите. Линейный диапазон и предел обнаружения настоящего

метода достаточны для определения иона стронция. Для оценки применимости и надежности предложенного метода были использованы четыре реальных образца воды. Результаты показывают, что метод будет полезен для извлечения и количественного определения иона стронция в образцах окружающей среды [103].

### Выводы по главе 3

1. В процессе фильтрационной кальцинации карбонизованной мягкой воды при использовании её в питьевых целях скорость фазовых превращений углекислотных соединений определяется кинетической стадией. Установлена эффективность электроимпульсного способа в ускорении кинетики химической реакции при кальцинации пермеата. Достигнутый в настоящее время уровень техники дает основание для разработки оптимального варианта этого способа, который с учетом его технико-экономического обоснования позволит резко снизить физический объем сооружений, а, следовательно, и соответствующие капитальные расходы.

2. При обогащении пермеата 2ой стадии солями угольной кислоты требуется дальнейшее кондиционирование для доведения воды до требуемого качества. В своих опытах мы использовали кальций-карбонатную загрузку и минеральную кислоту.

3. Из всех существующих способов очистки воды от бора метод ионного обмена с применением высокоселективных анионообменных смол показал наибольшую эффективность и экологичность, а также воспроизводимость смолы. Загрузки смолы S-108 в постоянном ионообменном режиме по бору хватает на 6 лет. Ежегодная дозагрузка при этом составляет около 3% от всего объема.

Применение для очистки подземных вод комплексобразующих ионитов с высокой избирательной способностью к боркислородным соединениям в настоящее время является наиболее приемлемым и эффективным.

4. Проблема высокой концентрации стабильного стронция в воде становится все более актуальной. Основные причины данной проблемы заключаются в растущем водопотреблении, сокращении аквиферов, более быстром вымывании минералов, связанным с ростом субацидности осадков.

5. Сорбция ионов  $Sr^{2+}$  природным холинским клиноптилолитом была исследована методом периодического анализа. Было проверено влияние рН, времени контакта и концентрации стронция и определены оптимальные условия

для сорбции. Также было изучено влияние ионов  $\text{Na}^+$  и эффективность поглощения из слабосоленых грунтовых вод. Исследованный цеолит показал сорбцию стабильного стронция на протяжении всего фильтроцикла.

6. Определена общая ДОЕ клиноптилолита по катионам жесткости и стабильному стронцию, которая соответственно составила  $1076,3 \text{ мг-экв/дм}^3$  загрузки и  $176,4 \text{ мг-экв/дм}^3$  загрузки. Доля общей обменной емкости клиноптилолита по стронцию составляет  $16,4\%$ , что свидетельствует о достаточном уровне селективности клиноптилолита по  $\text{Sr}^{2+}$  при отношении концентрации  $\text{Sr}:\text{Ж}_{\text{об}} = 0,73 : 10,25 \text{ мг-экв/дм}^3$ . Эффективность очистки воды от стронция до норм ПДК в три раза выше по сравнению с катионами жесткости ( $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ ), а эффективность полной сорбции выше в шесть раз.

7. Длительность фильтроцикла в  $3,9$  суток соответствует расчетным величинам других ученых ( $4$  суток), о чем говорит сопоставление результатов опыта с информацией, представленной в научной литературе о методах очистки подземной воды от стабильного стронция.

8. Итоги эксперимента показали, что получение ПДК в фильтрате по стронцию ( $7 \text{ мг/дм}^3$ ) обеспечивается путем загрузки из клиноптилолита  $260$  относительных объемов воды на объем загрузки; для получения в усредненном образце фильтрата концентрации  $3,5 \text{ мг/дм}^3 \text{ Sr}^{2+}$  и предельно-допустимой для питьевой воды жесткости  $7 \text{ мг-экв/дм}^3$  -  $330$  отн. объемов/объем загрузки.



## Глава 4. Рекомендации по внедрению методов кондиционирования опреснённой воды для питьевых нужд

### 4.1. Расчёт основных элементов установки приготовления питьевой воды

Расчет установки приготовления питьевой воды (УППВ) предлагается проводить по отдельным узлам, соблюдая технологические параметры приготовления питьевой опресненной воды.

*Определение производительности установки приготовления питьевой воды и карбонизация дистиллята.*

Расчетная производительность термического опреснителя горизонтально - трубного плёночного аппарата – ГТПА  $Q_d = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$  или  $12000 \text{ м}^3$  в сут. Полезная производительность установки приготовления питьевой воды (технологическая схема – рисунок 4.1) с учетом расхода дистиллята на собственные нужды установки (2%):  $Q_{п.в.} = 0,98 \cdot 500 = 490 \text{ м}^3/\text{ч}$  или  $11760 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Необходимо обеспечить содержание кальция в питьевой воде на уровне  $1,5 \text{ г- экв./ м}^3$ .

Согласно кинетике фильтрационного процесса обогащения, при времени контакта 8-9 мин. концентрацию  $\text{CO}_2$  в дистилляте следует принять не менее  $2 \text{ г- экв./ м}^3$ . Расчетная концентрация диоксида углерода  $C_{ду} = 2 \cdot 2 = 44 \text{ г/ м}^3$ .

Общий расход  $\text{CO}_2$  -  $P_{ду} = (490 \cdot 44) / 1000 = 21,6 \text{ кг/ч}$ .

При  $T = 20^\circ\text{C}$  предельная растворимость диоксида углерода в воде  $C_{ду} = 0,173\%$ .

*Фильтры обогащения воды*

Для обогащения воды минералами используются специальные фильтры, которые насыщают жидкость ценными элементами и делают ее полезной для здоровья человека. Среди наиболее распространенных методов обогащения воды выделяют метод применения водоочистителей с ионообменной смолой, которая содержит ионы необходимых минералов. Во время фильтрации смола легко и быстро отдает воде необходимые элементы.

Другой способ насыщения жидкости - добавление в фильтрующие смеси гранул соответствующих минералов. Для этого используются проточные фильтры или специальные минерализаторы, которые устанавливаются в сочетании с системами обратного осмоса. Благодаря их использованию вода приобретает более приятный вкус, улучшаются ее органолептические характеристики и минеральный состав.

Расчетный расход карбонизированного дистиллята  $Q=490\text{ м}^3/\text{ч}$ . Концентрация в дистилляте диоксида углерода  $C_{\text{дв}} = 44 \text{ г}/\text{м}^3$ . Содержание кальция в обогащенном дистилляте  $C_{\text{к}}= 30 \text{ г}/\text{м}^3$  или  $1,5 \text{ г-экв}/\text{м}^3$ . Удельный расход связанного диоксида углерода  $C_{\text{сдв}}=1,5 \cdot 22=33 \text{ г}/\text{м}^3$  (75% от дозирочного расхода реагента).

При режиме обогащения с избытком  $\text{CO}_2$  расчетное время контакта его с карбонатной загрузкой должно быть  $\tau=8\text{ мин}$ . В качестве загрузки фильтра обогащения воды принимаем дробленый ракушечник. Фракционный состав ракушечника принят крупностью от 0,8 до 2,4 мм. В напорных фильтрах фильтрующий слой ракушечника принят  $h_{\text{с}} = 3,0 \text{ м}$ .

Расчетная скорость фильтрования исходной воды  $v = \frac{3,0 \times 60}{8} = 22,5 \text{ м}/\text{ч}$ .

Целесообразно использовать для начального фильтрования загрузку с условным диаметром зерен более 1,5 мм. Для этого фильтрование воды в фильтре обогащения осуществляем снизу-вверх, т.е. при подаче дистиллята через дренажную систему, выполненную в коррозионностойком исполнении.

Необходимая площадь фильтрования воды  $F = \frac{490}{22,5} = 21,8 \text{ м}^2$ .

Принимаем фильтры  $D = 3,0$  и  $f = 7,1 \text{ м}^2$ .

Количество ФО  $N = \frac{21,8}{7,1} + 1 = 4,07$ .

Принимаем четыре напорных ФО  $D = 3,0 \text{ м}$ , в том числе один резервный при продолжительности работы фильтра не менее суток.

Промывка фильтра обогащения обратным током исходного дистиллята проводится в течение 5 мин, при этом расход промывной воды будет  $15 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

Производительность насоса для промывки фильтра  $Q_{\text{н}} = 7,1 \times 15 = 106,5 \text{ л}/\text{с}$

или 383,4 м<sup>3</sup>/ч.

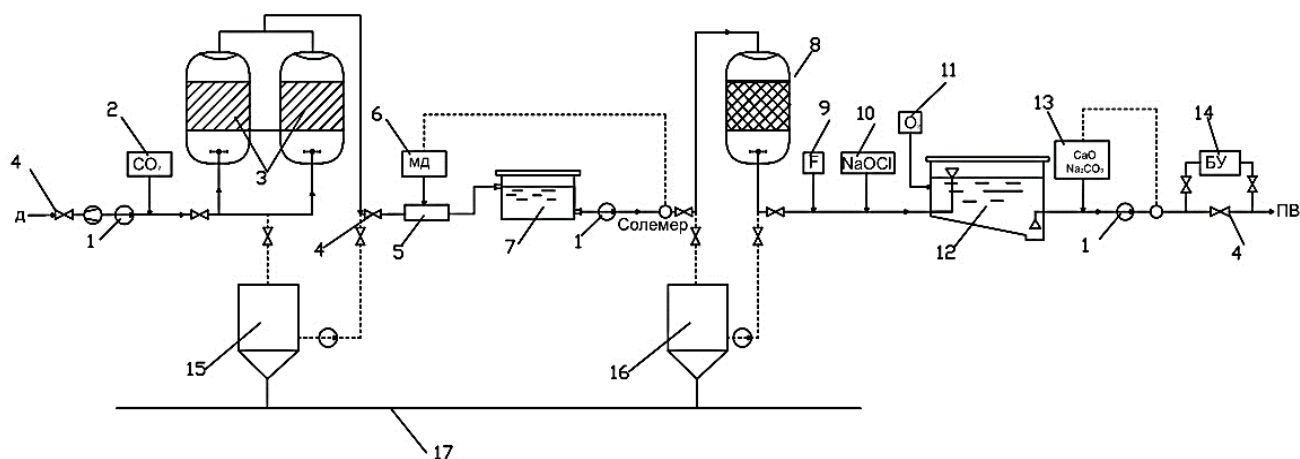


Рисунок 4.1 — Схема приготовления дистиллята для питьевых целей

1 – насос; 2 – дозирование CO<sub>2</sub>; 3 – фильтры обогащения Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; 4 – задвижка; 5 – смеситель; 6 – дозирование солевой добавки; 7 – контактный резервуар; 8 – фильтр с активированным углем; 9 – фторирование воды; 10 – обеззараживание; 11 – узел аэрации; 12 – резервуар питьевой воды; 13 – узел стабилизации питьевой воды; 14 – бактерицидная установка; 15 – рабочая секция промывного бака; 16 – циркуляционный бак; 17 – опорожнение; Д – дистиллят; ПВ – питьевая вода.

Принимаем промывной электронасос с параметрами  $Q_n=400$  м<sup>3</sup>/ч,  $H_m=25$  м.в.с., который уточняется при проектировании установки. Устанавливаем два электронасоса, в том числе 1 резервный.

Промывные воды будем использовать вторично после отстаивания с добавлением 10% свежей дистиллированной воды. Промывочная емкость состоит из двух баков.

Полезная вместимость каждой секции промывочной емкости

$$V_c = \frac{383,4 \times 5}{60} = 32,0 \text{ м}^3.$$

Каждая секция  $V_c = 35$  м<sup>3</sup> оборудуется поплавковой системой для забора отстаивной воды в верхнем слое секции. При  $v = 2,5$  м/с диаметр внутреннего сечения шланга должен быть равен:  $d = 1,13 \sqrt{\frac{0,1065}{2,5}} = 0,233 \text{ м}$ . Принят шланг с

гладкой поверхностью его стенок, условным проходом  $d_y = 240$  мм.

Для удаления осадка наклон днища принят не менее  $30^\circ$ , а форма сечения в плане – прямоугольной для более удобной компоновки промывного бака. Удаление осадка предусмотрено трубчатым сборником с отверстиями, расположенными по двум образующим вразбежку под углом  $45^\circ$  в сторону днища. Для того, чтобы удалить осадок со всей емкости, средняя скорость струи должна быть, как минимум, 5 м/с. Это позволит осуществлять удаление осадка по принципу большого сопротивления. При полезной высоте сечения  $h_c = 4,5$  м площадь ее  $f_c = 7,8$  м<sup>2</sup>, а промывного бака  $f_o = 15,6$  м<sup>2</sup>. Схема промывки ФО с повторным использованием отстоянной воды приведена рисунок 4.2.

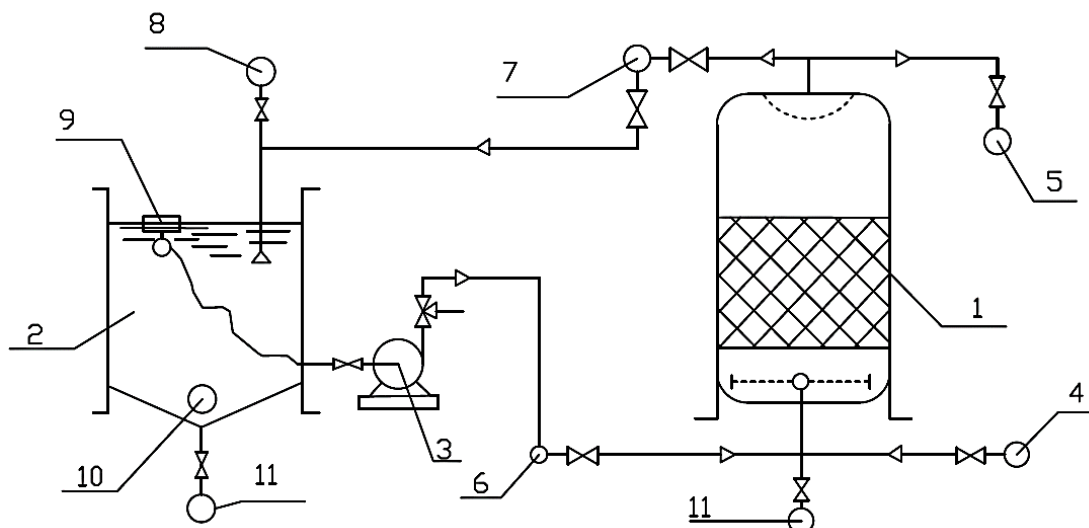


Рисунок 4.2 – Схема промывки ФО и повторного использования отстоянной воды:

1 - фильтр обогащения воды; 2 - рабочая секция промывного бака; 3- промывной электронасос; 4,5 - подача карбонизованной и отвод обогащенной воды; 6 - трубчатый распределитель промывной воды; 7 - трубчатый сборник промывной воды; 8 - добавка дистиллята; 9 - поплавок с гибким соединительным шлангом; 10 - удаление осадка; 11 – опорожнение.

При обогащении опресненной воды кальцием до  $1,5$  г-экв/м<sup>3</sup> ( $30$  г/м<sup>3</sup>) удельный расход карбоната кальция составит  $P_{Kl} = 1,5 \cdot 50 = 75$  г/м<sup>3</sup>.

При  $v = 22,5$  м/ч и  $\tau_{\phi-ц} = 23,5$  ч расход карбоната кальция за фильтроцикл

составит  $P_{K2} = \frac{75 \text{ г/м}^3 \times 22,5 \text{ м/ч} \times 23,5 \text{ ч}}{1000} = 39,66 \text{ кг/(м}^2 \text{ фц)}$ , а в течение месяца

$$P_{K3} = \frac{39,66 \times 30}{1000} = 1,2 \text{ м/м}^2.$$

При  $\gamma = 1,5 \text{ т/м}^3$  высота слоя сработки карбоната кальция  $\Delta h_C = 1,2/1,5 = 0,8 \text{ м/м-ц}$ .

С учетом примесей и потерь мелких зерен при промывке (10%)

$$\Delta h_C = \frac{1,1 \times 1,2}{1,5} = 0,88 \text{ м/м-ц}.$$

Догрузка ФО производилась два раза в месяц на величину  $\Delta h_{CI} = 0,45 \text{ м}$ . Высота фильтрующего слоя загрузки  $h_C = 3,0 \pm 0,23 \text{ м}$ , т.е. после догрузки  $h_{CH} = 3,23 \text{ м}$ , а после сработки слоя сорбента  $h_{CK} = 3,0 - 0,23 = 2,77 \text{ м}$ .

### *Сорбционные фильтры*

Под адсорбцией мы понимаем физический процесс, при котором растворенные молекулы или мелкие частицы в воде (адсорбат) притягиваются и прикрепляются к поверхности чего-то большего (адсорбент). В природе адсорбция часто происходит между твердыми телами и жидкостями или газами. На протяжении всей истории люди использовали углерод (древесный уголь) в качестве эффективного адсорбента в таких процессах, как водоподготовка. В системах очистки воды улучшенная форма угля в виде активированного угля является адсорбентом, наиболее часто используемым для привлечения и удержания растворенных загрязняющих веществ. Активированный уголь изготавливается из углеродных материалов, таких как уголь или древесина, которые сначала нагреваются без доступа кислорода для получения древесного угля. Затем обугленный материал нагревают паром или углекислым газом до температуры свыше 1000 градусов Цельсия, что приводит к дальнейшему разрушению и коррозии, удаляя все, кроме углерода. В результате получается воздушная, тонкая структура, состоящая почти из чистого углерода и полная отверстий. Затем его измельчают в порошок и смешивают со связующими

веществами для получения гранул нужного размера для различных фильтрующих материалов.

В зависимости от желаемых результатов, активированный уголь может использоваться в порошкообразной или гранулированной форме.

Гранулированный активированный уголь обычно используется в водоочистных сооружениях, где вода пропускается через слой гранулированного угля для удаления вкуса, цвета, запаха и растворенных органических веществ.

Порошкообразный уголь является предпочтительным выбором в системах фильтрации воды в местах потребления, поскольку он быстрее и лучше механического фильтра, чем гранулированный активированный уголь. Кроме того, он занимает минимум места, учитывая его большие размеры.

На рисунках 4.3 и 4.4 представлены схемы сорбционной очистки воды с применением напорных насыпных фильтров с гранулированным активным углем.

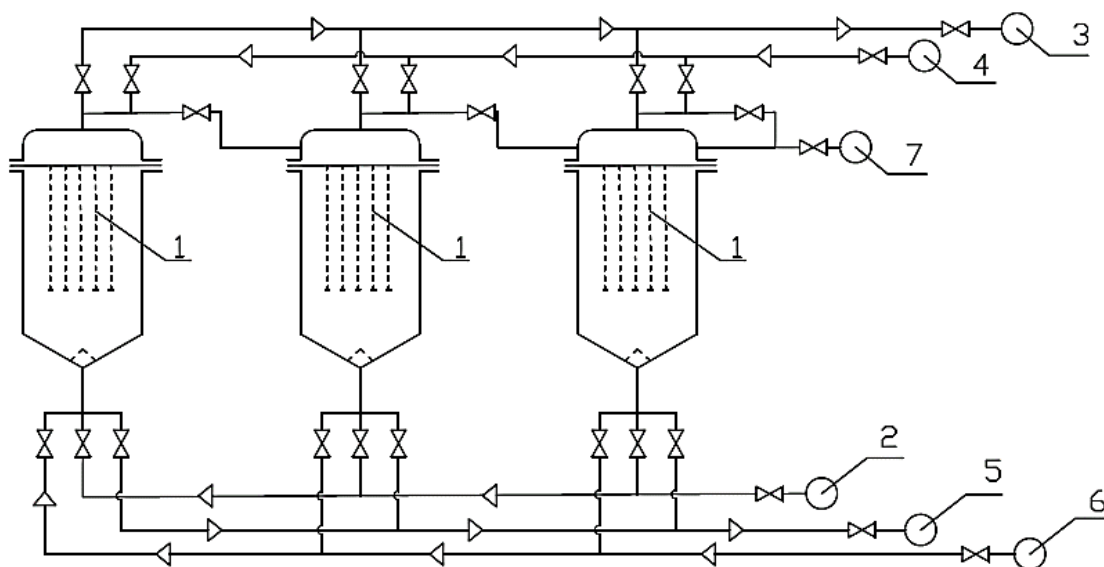


Рисунок 4.3 – Технологическая схема сорбционной очистки воды:

1 - намывные сорбционные фильтры; 2,3 - подача обогащенной и отвод очищенной воды; 4,5 - подача и отвод горячей промывочной воды (дистиллята); 6,7 - подача и возврат пульпы в режиме рециркуляции.

Огромная площадь поверхности активированного угля является решающим фактором его эффективности в адсорбции различных загрязнений. Структура и распределение пор в активированном угле являются ключевыми факторами для

адсорбции, поскольку они определяют размер молекул, которые могут быть адсорбированы.

Максимальный диаметр стандартного насыпного сорбционного фильтра 3,4м с полезной площадью фильтрования  $f_f=9,1\text{м}^2$ . Средняя расчетная скорость фильтрования воды  $v=15$  м/ч, соответственно производительность одного фильтра  $q=9,1\cdot 15=136,5$  м<sup>3</sup>/ч.

При общем расходе воды  $Q= 490$  м<sup>3</sup>/ч количество фильтров первого типа  $N_\phi=490/136,5+1=4,6$  шт.

Таким образом, общее количество фильтров должно быть не менее 5, включая запасной. Это делает очистительный процесс более сложным. Кроме большой металлоемкости этот вариант нерационален по одновременному расходу гранулированного активного угля. При времени контакта в режиме фильтрования  $\tau = 8$  мин расчетная высота фильтрующего слоя сорбента (АГ-3):

$$h_c = \frac{8 \cdot 12}{60} = 2,0\text{м.}$$

Единовременный расход сорбента для загрузки насыпных СФ  $V=9,1\cdot 2,0\cdot 5=91$  м<sup>3</sup>. Существует множество сорбентов с различными текстурными свойствами: природные цеолиты, активированные угли, водные дисперсии. По результатам многочисленных опытов ученых наибольшую сорбционную активность показывают активированные угли. Поэтому в нашем эксперименте был использован активированный уголь марки АГ-3.

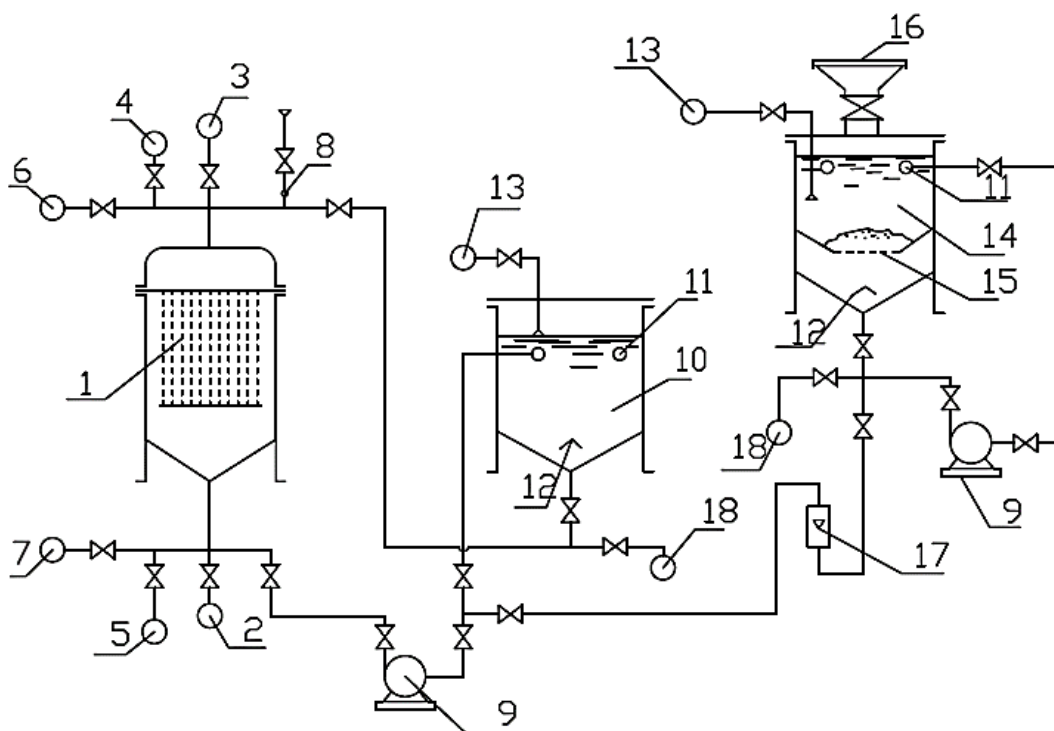


Рисунок 4.4 — Технологическая схема намыва свежего сорбента (АГ-3) в НСФ-45

1 - НСФ-45; 2,3 - подача и отвод очищаемой воды; 4,5 - подача и отвод промывной воды (горячий дистиллят); 6 - подача воздуха; 7 - отвод отработанного сорбента (пульпы); 8 - выпуск воздуха с шаровым клапаном; 9 - циркуляционный электронасос; 10 - циркуляционный бак; 11 - трубчатый сборник; 12- отражатель; 13 – водопровод; 14 – сатуратор; 15 – приемник сорбента с щелевым днищем; 16 - загрузка сорбента; 17 - обратный клапан; 18 - трубопровод опорожнение.

При удельном объемном весе гранулированного АГ-3  $\gamma=0,45$  т/м<sup>3</sup> общий расход сорбента на начальную загрузку СФ  $P_o = 91 \cdot 0,45 = 41$  т.

Ежегодная догрузка СФ для восполнения потерь АГ-3 на истирание и унос мелких частиц сорбента составляет 5% или  $0,05 \cdot 41 = 2,05$  т. Итого, наблюдается достаточно высокий расход сорбента.

Намывные сорбционные фильтры обладают большой единичной производительностью, благодаря наличию в них развитой системы фильтрующих элементов. Фильтр марки НСФ-80 диаметром 2,65 м и имеет 440 фильтрационных элементов с фильтрующей поверхностью 0,182 м<sup>2</sup> каждый, что



в сумме составляет  $80 \text{ м}^2$ , т.е. в 15 раз больше площади внутреннего сечения самого аппарата. Намывные сорбционные фильтры работают с уменьшением скорости фильтрования воды с 14 до 6 м/ч. Производительность НСФ-80 равна  $Q = 800 \text{ м}^3/\text{ч}$  при средней скорости фильтрования  $v = 10 \text{ м/ч}$ . Если принять в расчет НСФ-80, то в данном случае количество их потребуется  $N_{\phi} = \frac{490}{800} + 1 = 1,61 \approx 2$ , в том числе 1 резервный.

Более обоснованным следует принять НСФ-45 меньшей производительности, чтобы вспомогательный узел намыва сорбента и его удаления был компактным и менее громоздким. Принимаем НСФ-45 диам. 2,0 м с количеством фильтрующих элементов 250 и общей поверхностью фильтрования воды  $F = 45 \text{ м}^2$ . Расчетная производительность НСФ-45 равна  $Q = 450 \text{ м}^3/\text{ч}$ , т.е. примерно в 2 раза меньше, а расчетное количество НСФ будет  $N_{\phi} = \frac{490}{450} + 1 = 2,08$ .

Принимаем 2 НСФ-45, в том числе 1 резервный.

Эквивалентный фракционный состав активированного угля марки АГ-3 примерно 60,0 мкм при коэффициенте неоднородности  $K = 1,46$ .

Расчетное время фильтроцикла НСФ-45  $T_{\phi\text{Ц}} = 300 \text{ ч}$ , следовательно, количество фильтроциклов в год будет равно  $N_{\phi\text{Ц}} = 1 \cdot 365 \cdot 24 / 300 \sim 29$ .

Расход сорбента (АГ-3) при однократном использовании в НСФ  $P_c = \frac{29 \times 45}{1000} = 1,31 \text{ т}$  в год, что меньше годовых эксплуатационных потерь сорбента в намывных СФ в 3,1 раза, не считая единовременного расхода его при загрузке фильтров.

Режим намыва пульпы циркуляционный в условии фильтрования:

- средняя скорость фильтрования пульпы  $v = 10 \text{ м/ч}$ ;
- продолжительность намыва пульпы  $\tau = 10 \text{ мин}$ ;
- концентрация сорбента в сатураторе 2% или  $20 \text{ кг/м}^3$ ;
- то же в циркуляционном потоке 0,06% или  $0,6 \text{ кг/м}^3$ ;
- полезная емкость сатуратора  $V_c = \frac{45 \text{ кг}}{20 \text{ кг/м}^3} = 2,25 \text{ м}^3$ .

При кратности рециркуляции пульпы в сатураторе  $n=6$  производительность малого циркуляционного электронасоса  $Q_H=6 \times 2,25=13,5$  м<sup>3</sup>/ч. Манометрический напор насоса  $H_M \approx 0,25$  МПа и подлежит уточнению при проектировании. Дозировочный расход концентрированной пульпы  $q_d = \frac{2,25 \times 60}{10} = 13,5 \text{ м}^3 / \text{ч}$  или 3,75 л/с. Расчетный расход разбавленной пульпы  $Q_{Ц}=45$  м<sup>2</sup>×10 м/ч =450 м<sup>3</sup>/ч. При кратности циркуляции  $n=30$  емкость циркуляционного бака  $V_6 = \frac{450}{30} = 15 \text{ м}^3$ .

Производительность большого циркуляционного электронасоса  $Q_H=450$  м<sup>3</sup>/ч. Манометрический напор насоса  $H_M \approx 0,45$  МПа и подлежит уточнению при проектировании установки.

Циркуляционные насосы устанавливаются с резервом. Сатуратор и циркуляционный бак могут быть без резерва, т.к. текущий ремонт их может быть произведен в перерыве между операциями по намыву сорбента в НСФ.

Учитывая дефицит и высокую отпускную стоимость активных углей и в том числе АГ-3, целесообразно предусмотреть регенерацию сорбента и повторное использование его с добавкой свежего сорбента в количестве 5%. В этом случае отработанный сорбент направляют в реактор для термической регенерации его паром в режиме конденсации непосредственно в дисперсной массе сорбента. Для этого отработанная пульпа поступает в приемник, в котором сорбент осаждается. Свободная вода удаляется, а влажный осадок гидроэлеватором откачивается в реактор. Отрегенерированный сорбент гидравлически в виде концентрированной пульпы направляют в сатуратор для повторного использования с добавкой свежего сорбента. Отработанный слой сорбента можно удалить из НСФ-45 обратным током воды в режиме фильтрования со скоростью  $v = 20$  м/ч в течение  $\tau = 5$  мин. Объем воды  $V = \frac{45 \times 20 \times 5}{60} = 75 \text{ м}^3$ .

Более высокий эффект обеспечивается комбинированным способом водовоздушной эмульсией. При добавке сжатого воздуха компрессором в пропорции

3:1 расход воды можно сократить в 4 раза, а именно по приведенной скорости фильтрования воды до 5 м/ч и объем ее до 18,75 м<sup>3</sup> на одну операцию. В приемном баке должно быть предусмотрено отделение пузырьков воздуха с помощью диффузора и удаление свободной воды путем ее дренирования. Полезную емкость бака принимаем равной  $V=20$  м<sup>3</sup>. При помощи гидроэлеватора дисперсная масса отработанного сорбента (АГ-3) перекачивается в реактор для регенерации его термическим способом. Реактор оборудуется дренирующим днищем. Регенерацию осуществляют после поступления до 3-5 порций сорбента. Во избежание слеживания и для подсушивания массы сорбента следует предусмотреть продувку воздухом. Трубчатая воздушная система находится под дренирующим днищем. Загрязненная вода из приемного бака и реактора удаляется в канализацию. Если принять пять порций отработанного сорбента, то дисперсная масса его по весу составит  $P_o = 5 \times 45 = 225$  кг во влажном состоянии. При объемном удельном весе сорбента  $\gamma = 0,45$  т/м<sup>3</sup> общий объем массы его  $V_o = \frac{225}{0,45 \times 1000} = 0,5$  м<sup>3</sup>. Расчетную емкость реактора можно принять с некоторым запасом  $V_3 = 1,0$  м<sup>3</sup>. При диаметре реактора 1,0 м полезная высота его  $H_p = \frac{1,0}{0,785 \times 1,0^2} = 1,27$  м.

После регенерации дисперсная масса сорбента промывается очищенной опресненной водой и перекачивается в сатуратор. В качестве теплоносителя можно использовать пар, поступающий на ДОУ-ГТПА.

В перспективе, возможно, рассматривать вариант использования промышленных фильтров с готовыми угольными картриджами (без процесса намыва АУ) с заменой их во времени и возвратом в рабочий цикл после регенерации.

Во время активации углерода иногда добавляют химические вещества для получения различных химических свойств поверхности, которые адсорбируют различные загрязнения. Например, кислоты позволяют получить уголь с максимальной способностью адсорбировать тяжелые металлы.

Поскольку активированный уголь адсорбирует растворенные молекулы и

субмикронные частицы, результатом является уменьшение загрязнений, что приводит к получению более эстетически приятной и здоровой питьевой воды. Адсорбция удаляет дезинфицирующий хлор, который часто используется в муниципальной водоподготовке. Вкус и запах дезинфицирующего хлора - самая распространенная жалоба и самая распространенная причина, по которой люди покупают фильтры. Адсорбция может удалять многие виды пестицидов и других синтетических органических химических веществ, включая хлорированные углеводороды, бензин, промышленные растворители и побочные продукты дезинфекции. Адсорбция также может удалять тяжелые металлы, такие как свинец и кадмий, которые попадают в воду в результате коррозии сантехнических материалов.

*Приемный резервуар с аэрационной камерой.*

При аэрации воздух и вода вступают в тесный контакт. Турбулентность увеличивает аэрацию текущих потоков. В промышленных процессах поток воды обычно направляется против течения атмосферного или принудительно нагнетаемого воздушного потока. Время контакта и соотношение воздуха и воды должны быть достаточными для эффективного удаления нежелательного газа.

Аэрация как метод очистки воды используется для следующих операций:

- снижение содержания диоксида углерода (декарбонизация)
- окисление железа и марганца, содержащихся во многих колодезных водах (окислительная башня)
- снижение содержания аммиака и сероводорода (стриппинг).

Аэрация также является эффективным методом борьбы с бактериями.

Для аэрации воды можно использовать два общих метода. Наиболее распространенным в промышленном использовании является водопадный аэратор. С помощью распылительных форсунок вода разбивается на мелкие капли или тонкую пленку для улучшения противоточного контакта с воздухом.

При воздушно-диффузионном методе аэрации воздух подается в приемный сосуд с противоточной водой, в результате чего образуются очень мелкие пузырьки воздуха. Это обеспечивает хороший контакт воздуха с водой

для "вымывания" нежелательных газов из воды.

При производительности установки получения питьевой воды  $Q = 490 \text{ м}^3/\text{ч}$  и времени ее пребывания  $\tau = 2.0 \text{ ч}$ , расчетная емкость каждой секции должна быть  $V_C = 500 \text{ м}^3$ .

При наполнении слоя воды  $h = 5 \text{ м}$  площадь секции будет равна  $f_C = 100 \text{ м}^2$ , а размеры ее определяются при компоновке приемного резервуара. Расчетная высота аэрационной камеры принимается равной  $h_k = 2,0 \text{ м}$ , над зеркалом воды. Аэрационная камера оборудуется приточно-вытяжной вентиляцией. В случае загрязненности воздуха на площадке УППВ приточный расход его подлежит очистке от механических и других примесей. Аэрационная система состоит из трех дырчатых труб длиной  $7.5 \text{ м}$ , с промежутком  $2,5 \text{ м}$ . В каждом распределителе отверстия  $d_o = 6 \text{ мм}$  просверливают по 4 образующим под углом  $\alpha = 15$  и  $30^\circ$  к свободной поверхности воды в резервуаре.

Исходя из вышеизложенного, расчетный расход на одну камеру  $q_c = \frac{490}{2} = 245 \text{ м}^3/\text{ч}$ , и на один распределитель  $q_p = \frac{245}{3} = 81,7 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

При скорости воды на входе в распределитель  $v_o = 1,2 \text{ м/с}$  диаметр внутреннего сечения его

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{81,7}{1,2 \times 3600}} = 0,156 \text{ м}.$$

Принимаем распределитель с условным проходом  $d_y = 160 \text{ мм}$ . При скорости истечения струй  $v_c = 1,5 \text{ м/с}$  единичный расход  $q_c = 0,785 \cdot 0,006^2 \cdot 1,5 = 42,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ .

Дырчатые распределители расположены на высоте  $1,5 \text{ м}$  над расчетным уровнем воды в резервуаре. По всему периметру аэрационной камеры смонтированы жалюзи высотой  $1,0 \text{ м}$  для поступления свежего воздуха и защиты от капельного уноса. В холодный период года следует предусмотреть, подогрев воздуха в приточной вентиляции. Учитывая агрессивность диоксида углерода в воде, подающий трубопровод и дырчатые распределители аэратора должны быть смонтированы в антикоррозионном исполнении, а лучше всего из полиэтиленовых или винилпластовых труб.

### *Коррекционная обработка и фторирование очищенной воды.*

Фтор естественным образом содержится практически во всех источниках водоснабжения. Фторирование - это просто регулировка содержания фтора до оптимального уровня, необходимого, в первую очередь, для защиты зубов от кариеса. Исследования показывают, что фторирование снижает кариес и приносит пользу людям всех возрастов и групп населения. Существует немало исследований, которые доказывают, что фторированная вода предотвращает кариес.

В соответствии с принятой технологической схемой очищенную воду последовательно обрабатывают водными растворами фтористого натрия и активного хлора.

Принимается расчетная доза фтора ( $F^+$ )  $a_{\phi} = 0,7 \text{ г/м}^3$ , что составит расход фтора  $A_{\phi} = \frac{0,7 \times 490}{1000} = 0,34 \text{ кг}$ . в сутки, а расход фтористого натрия  $A_{\phi n} = \frac{0,34 \times 42}{19} = 0,75 \text{ кг / сут}$ .

Технологическая схема фторирования опресненной очищенной воды, где основными элементами являются герметичная камера, водоструйный эжектор, сатуратор насыщенного водного раствора фтористого натрия, мерник, расходный бак разбавленного раствора реагента, циркуляционные электронасосы, механический фильтр, ротаметр и конфузорная вставка – смеситель. При  $t = 30^{\circ}\text{C}$  предельная растворимость фтористого натрия в воде равна  $C_{np} = 42 \text{ кг/м}^3$ . Принимаем полезную емкость сатуратора  $V_c = 1 \text{ м}^3$ , для периодической загрузки его реагентом в количестве 50 кг, содержащимся в одном фанерном барабане. Охлажденный дистиллят имеет температуру на уровне  $30^{\circ}\text{C}$ , что обеспечивает постоянную концентрацию реагента в присутствии избытка его в сатураторе. Вместимость мерника  $V_m = \frac{0,75 \text{ кг / сут} \times 1000}{42 \text{ кг / м}^3} = 17,86 \text{ л}$ .

Расходный бак для фторирования воды вместимостью каждой секции на суточный расход разбавленного раствора фтористого натрия с концентрацией

$$1\% \text{ или } 10 \text{ г/дм}^3: V_c = \frac{17,86 \times 42}{10} = 75 \text{ л.}$$

Общую вместимость расходного бака  $V_6 = 2 \cdot 85 = 190 \text{ дм}^3$ . Доза расхода раствора реагента  $q_0 = \frac{75}{24} = 3,13 \text{ л/ч}$ .

Механический фильтр:

- диаметр  $D_\phi = 40 \text{ мм}$ ;
- высота слоя загрузки  $h_c = 600 \text{ мм}$ ;
- полная высота фильтра  $H_\phi = 1200 \text{ мм}$ ;
- скорость фильтрования воды  $v = 3,6 \text{ м/ч}$ ;
- загрузка – кварцевый песок фракцией 0,6-1,2 мм;
- режим промывки загрузки – периодический обратным током водопроводной воды с интенсивностью  $W = 10 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{с)}$  в течение 5 мин;
- продолжительность фильтроцикла ТФЦ = 48 час, а точнее до осветления промывной воды. Растворение реагента в сатураторе в режиме рециркуляции. Кратность циркуляции раствора в течение одного часа  $n = 8$ .

Производительность электронасоса  $Q_n = 8 \cdot 1 = 8 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Манометрический напор насоса  $H_m = 0,45 \text{ МПа}$ , что следует уточнить при проектировании узла фторирования воды.

Водоструйный эжектор – стандартный. При скорости струи  $v_c = 5 \text{ м/с}$  диаметр выходного отверстия сопла  $d_c = 1,13 \sqrt{\frac{8,0}{5,0 \times 3600}} = 0,0238 \text{ м}$ . Принимаем  $d_c = 24 \text{ мм}$ . При  $f^* = 20$  диаметр внутреннего сечения камеры смешения  $d_k = 24 \sqrt{20} = 107,3 \text{ мм}$ . Принимаем  $d_k = 110 \text{ мм}$ .

Резервный ВЭ в помещении узла фторирования воды в готовом проверенном виде. Устанавливаем два электронасоса, в том числе один резервный.

Смешение раствора реагента в рабочей расходной секции в режиме рециркуляции с кратностью  $n = 4$ . Производительность электронасоса  $Q_n = 4 \cdot 0,106 \approx 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Манометрический напор  $H_m = 0,25 \text{ МПа}$ , что следует уточнить

при проектировании узла фторирования воды. Устанавливаем два электронасоса: рабочий и резервный. Оборудование и коммуникации должны быть в антикоррозионностойком исполнении.

*Обеззараживание воды гипохлоритом натрия.*

Гипохлорит натрия обладает дезинфицирующими свойствами при растворении в воде. Он не менее эффективен, чем хлор, но обладает более приятными органолептическими свойствами. Транспортировка и хранение гипохлорита натрия безопасны, но что немаловажно – его получают из соли на месте. По всем этим параметрам привычная обработка воды хлором уступает гипохлориту натрия.

Производительность установки электролизного получения  $\text{NaClO}$  определена из необходимости постоянного обеззараживания  $490 \text{ м}^3/\text{ч}$  воды и периодической хлорной обработки загрузки фильтров и составляет по максимальному расходу активного хлора –  $20 \text{ кг Cl}_2/\text{сутки}$  из расчета:

- доза вводимого хлора –  $1,5 \text{ г Cl}_2/\text{м}^3$ ;
- остаточное содержание активного хлора не менее  $0,8 \text{ мг/дм}^3$ ;
- для проведения пробной хлорной промывки 20 фильтров требуется  $20,8 \text{ кг Cl}_2$  ( $3,4^2 \cdot 0,785 \cdot 1,2 \cdot 0,4 \cdot 25 \text{ г/м}^3 \cdot 20 \cdot 10^{-3}$ ). При промывке 1 фильтра раз в сутки требуется  $1 \text{ кг Cl}_2$ .

Электрохимический способ получения  $\text{NaClO}$  основан на получении хлора при взаимодействии со щелочью в бездиафрагмовом электролизере.

Для ведения процесса электролиза на оптимальном уровне имеют влияние факторы: концентрация раствора хлоридов, температурный режим, анодная плотность тока, способ расположения электродов и скорость движения жидкости между электродами.

Для снижения расхода поваренной соли на  $1 \text{ кг}$  получаемого гипохлорита натрия обычно принимают концентрацию соли в электролите от  $30$  до  $40-50 \text{ г/дм}^3$ . Концентрация гипохлорита натрия в результате электролиза находится в диапазоне  $5-8 \text{ г/дм}^3$ , в среднем –  $6 \text{ г/дм}^3$ , содержание  $\text{H}_2$  – менее  $1\%$ . Удельный расход поваренной соли, электроэнергии и питьевой воды на  $1 \text{ кг}$  активного



электролизного хлора составляет соответственно 2-4 кг, 2-6 кВт ч, 100-200 л в зависимости от конструкции и режима работы электролизера. Сила рабочего тока (на паре пластин) от 3-8 до 35 А, напряжение на разрядный промежуток – от 4-5 до 8-10 В, плотность тока – 80-100 А/м<sup>2</sup>, межэлектродное расстояние – 3-5 мм, скорость протока электролита – 0,25 м/с.

Технико-экономические показатели электролизной установки:

- установка работает в три смены в периодическом режиме 6-8 ч с фактической суточной производительностью 35 кг С1<sub>2</sub>;

- электропитание, В/Гц – 220-50;

- насыщенный раствор хлорида натрия получают в железобетонном резервуаре на открытой площадке рядом с помещением, где расположена электролизная установка. Бак оборудуют водораспределительной решеткой (внизу), плавающим патрубком для забора и перемешивания раствора. К баку подводят промышленный дистиллят. Производительность насоса – 12-20 м<sup>3</sup>/ч, напор 40 м. Продолжительность перемешивания 4-5 ч, отстаивания – 10-15 ч;

– концентрация насыщенного раствора NaCl при 20 °С, г/м<sup>3</sup> – 350;

– плотность раствора, г/см<sup>3</sup> – 1,2;

– содержание хлоридов, г/дм<sup>3</sup> – 180-200;

– суточный расход NaCl, кг – 175.

Для эффективности электрохлорирования используемая соль должна иметь следующий состав:

Хлорид натрия	> 99,82%
Сульфат кальция	< 0,14 %
Сульфат магния	<0,02%
Хлористый магний	<0,01%
Марганец	не измеряемый
Нерастворимые соединения	<0,01%
Бромиды	≤ 200 мг/кг соли

Железо  $\leq 3$  мг/кг соли

Концентрации тяжелых металлов ограничены:

Мышьяк  $\leq 0,5$  мг/кг соли

Медь  $\leq 2$  мг/кг соли

#### 4.2 Разработка контейнерной станции приготовления питьевой воды

В настоящее время услуги водоподготовки доступны не всем иракцам. Менее половины населения имеют доступ к улучшенному источнику воды через водораспределительную сеть страны. Инфраструктура водоочистки Ирака состоит из водоочистных станций, компактных установок и солнечных установок, которые используются для очистки как поверхностных, так и подземных источников воды. В настоящее время ежедневное производство питьевой воды составляет около 12,5 миллионов кубических метров в день. Мухафаза Багдад может очищать более 3,5 МКМ/сутки, в то время как большинство других мухафаз могут очищать не более 1 МКМ/сутки, а многие - не более 0,5 МКМ/сутки.

Приблизительно 30% населения Ирака имеет доступ к системе канализации, а из 18 мухафаз только в десяти имеются очистные сооружения. [17] Доступ к канализационным системам, как правило, сосредоточен в городских районах, где имеются очистные сооружения. Это означает, что большинство сельских районов не имеют доступа и поэтому прибегают к альтернативным способам сброса сточных вод (например, подземные септические системы или сброс неочищенных отходов в каналы или реки). Учитывая вышеперечисленные современные реалии страны, сооружение крупных очистительных станций не будет экономически и технически оправданным в отдельных населенных и некоторых периферийных мухафазах, где отсутствует центральное водоснабжение. Также, водоочистные сооружения состоят из трех основных секций (аэрация, отстаивание, фильтрация), которые занимают большую

площадь, что также затрудняет их строительство. При этом существует большое количество потерь очищенной воды во время ее распределения.

На данном этапе технического и экономического развития страны более целесообразным представляется установка небольших очистных сооружений по очистке и кондиционированию воды. Такие министанции смогут обеспечить малые поселения питьевой водой, а также водой для хозяйственных нужд. Малогабаритные станции требуют меньшую площадь для строительства. Меньшее использование земли, в свою очередь, позволит построить ее вблизи/внутри определенного района или города, тем самым сократив длину трубопровода очищенной воды. Меньшая длина трубопровода поможет сократить потери очищенной воды. Станции могут быть построены отдельным зданием или в виде нескольких контейнеров, их основные секции могут быть установлены друг над другом. Выбор станции в том или ином виде определяет инфраструктура местности, погодные условия, предназначение станции, демографические и топографические факторы. Тем не менее, несмотря на малые габариты, основная цель малых очистительных станций - это качественная очистка воды с соблюдением всех норм.

Сырая вода из источника должна быть обработана и очищена, прежде чем ее можно будет подавать населению для бытового, промышленного или любого другого использования. Степень очистки конкретной воды зависит от ее характеристик и качества. Общественное водоснабжение в основном проектируется с точки зрения требований к качеству питьевой воды и одновременно должно быть сделано достаточно пригодным для промышленных целей. Различные методы, которые могут быть приняты для очистки общественных источников водоснабжения, включают отбор, отстаивание с коагуляцией, фильтрацию, дезинфекцию, аэрацию, умягчение и т.д. Следует иметь в виду, что не все вышеперечисленные методы могут быть использованы для очистки конкретной воды, все зависит от качества исходной воды.

Для расчета параметров сооружений составлен алгоритм блок-схема которого представлена на рисунке 4.5, по узлам и вспомогательным элементам

технологической схемы.

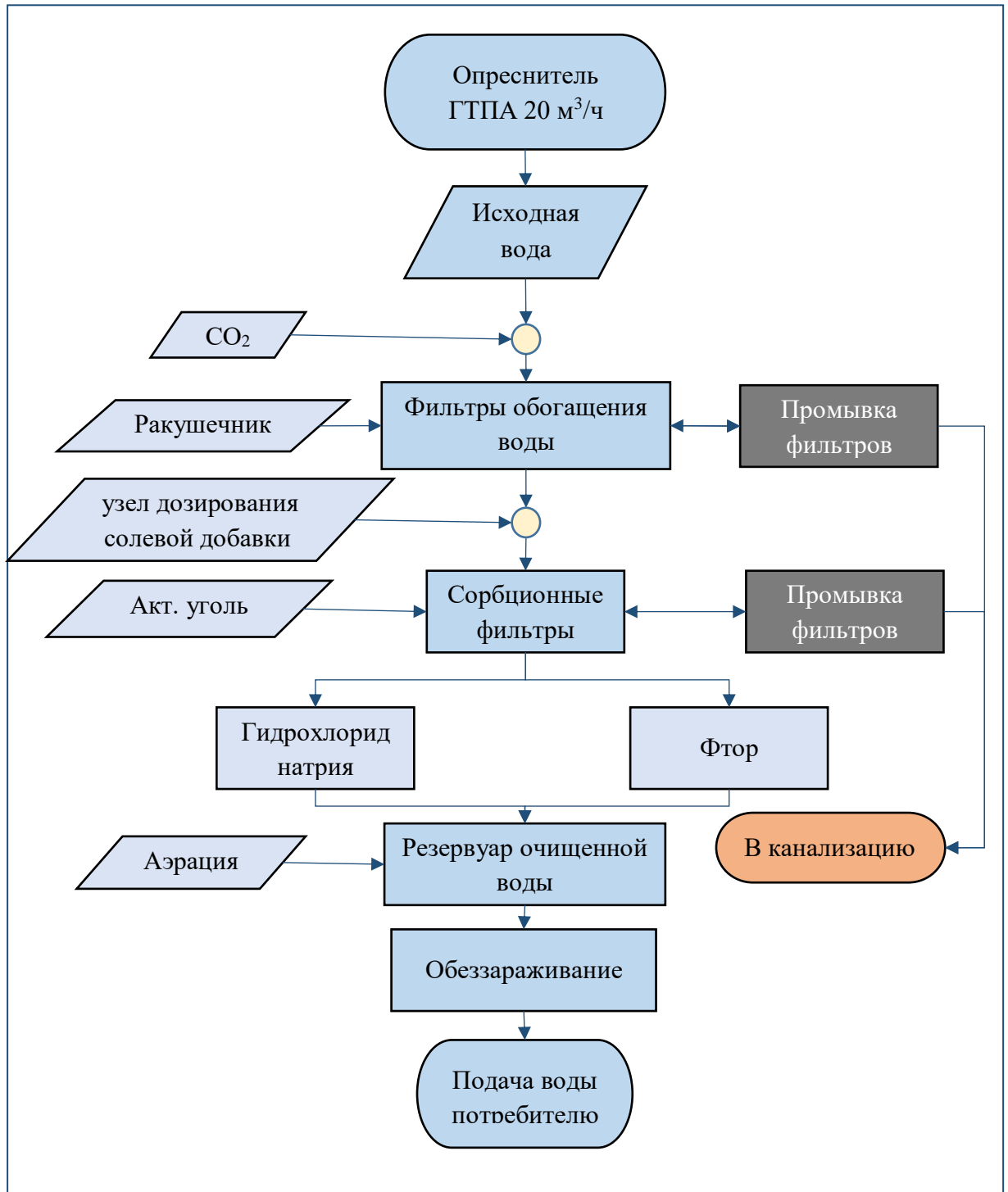


Рисунок 4.5 — Блок-схема процесса стабилизации очищенных природных морских или подземных вод

*Определение технологических параметров кондиционирования природной воды на установке модульного типа*

Наиболее целесообразным, по нашему мнению, для проектирования модульной станции подготовки питьевой воды, следует рассмотреть использование стандартных контейнеров для размещения технологического оборудования. Для условий Ирака модульные станции обладают преимуществом в возможности их мобильности или простого перемещения на другие объекты по мере необходимости. Рассмотрим пример расчета оборудования для станции производительностью 20 м<sup>3</sup>/ч.

Таблица 4.1 — Параметры фильтров обогащения воды, применяемых в мобильной станции подготовки воды

<b>Фильтры обогащения воды</b>		
<b>Технические параметры</b>	<b>Принятые решения</b>	<b>Результаты</b>
Производительность станции	20 м <sup>3</sup> /ч	
Время контакта	8	
Концентрация СО <sub>2</sub>	44 г/м <sup>3</sup>	
Общий расход СО <sub>2</sub>	(20*44)/1000	0,88 кг/ч
Концентрация кальция в обогащенном дистилляте	30г/м <sup>3</sup> или 1,5 г-экв./м <sup>3</sup>	
Удельный расход снизанного СО <sub>2</sub>	1,5*22	33 г/м <sup>3</sup> т.е. 75%
Фракционный состав загрузки (дробленый ракушечник)	0,8-2,4 мм	
Высота фильтрующего слоя загрузки	1,8 м	
Расчетная скорость фильтрования воды	(1,8х60) /8	13,5 м/ч
Необходимая площадь фильтрования воды	20/13,5	1,5 м <sup>2</sup>
Диаметр фильтр	1 м	
Площадь рабочей части	0,785 м <sup>2</sup>	
Количество фильтров обогащения	1,5:0,79=1,9	2
продолжительность фильтроцикла	не менее 24 часов	

Режим промывки	обратным током	
Промывной насос	$0,785 \times 15 = 11,78$ л/с или $42,4$ м <sup>3</sup> /ч.	50 м <sup>3</sup> /ч
Интенсивность промывки	15 л/(м <sup>2</sup> ·с) в течение 5 мин.	
Промывной бак двухсекционный	$(42,4 \times 5) / 60$	3,5 м <sup>3</sup>

Таблица 4.2 — Параметры фильтров сорбционных, применяемых в мобильной станции подготовки воды

Сорбционные фильтры		
Технические параметры	Принятые решения	Результаты
Намывный сорбционный фильтр НСФ-5	0,5 м	
Фильтрующие элементы	12	
Фильтрующая поверхность	0,182 м <sup>2</sup>	
Общая фильтрующая поверхность	2,2 м <sup>2</sup>	
Скорость фильтрования воды	убывающая	от 14 до 6 м/ч
Скорость фильтрования воды	10 м/ч	
Производительность НСФ-5	22 м <sup>3</sup> /ч	
Количество фильтров	$20/22 = 0,91$	1

В сорбционных фильтрах используется активированный уголь марки АГ-3 с эквивалентным диаметром частиц  $\approx 60,0$  мкм и коэффициентом неоднородности  $K = 1,46$ . Расчетная продолжительность фильтроцикла НСФ-5 может принимается  $T_{\text{фц}} = 300$  ч. Количество фильтроциклов в год  $N_{\text{фц}} = 1 \times 365 \times 24/300 \sim 29$ . Расход сорбента (АГ-3)  $(29 \times 5,5) / 1000$  0,16 т.

Таблица 4.3 — Параметры приемного резервуара с аэрационной системой

Приемный резервуар с аэрационной системой		
Технические параметры	Принятые решения	Результаты
Расход очищенной воды	20 м <sup>3</sup> /ч	
Время пребывания	2 ч	
Емкость приемного резервуара	20 × 2	40 м <sup>3</sup>
Двухсекционный резервуар	20 м <sup>3</sup>	
Глубина воды в секции	2 м	
Площадь секции	10 м <sup>2</sup>	

Расчетная высота аэратора  $h_k = 0,70$  м, считая над зеркалом воды.

По всему периметру аэрационной камеры мобильного блока вмонтированы жалюзи высотой 1,0 м для поступления свежего воздуха и защиты от капельного уноса. В холодный период года предусматривается, подогрев воздуха в приточной вентиляции. Учитывая агрессивность диоксида углерода в воде, подающий трубопровод и дырчатые распределители аэратора монтируются в антикоррозионном исполнении.

Таблица 4.4 –Параметры узла коррекционной обработки очищенной воды

<b>Узел коррекционной обработки очищенной воды</b>		
<b>Фторирование воды</b>		
<b>Технические параметры</b>	<b>Принятые решения</b>	<b>Результаты</b>
Доза фтора	0,7 г/м <sup>3</sup>	
Суточный расход фтора	(0,7*20) /1000	0,014 кг
Расход фтористого натрия	(0,014*42) /19	0,03 кг/сут
Расходный бак	(0,71*42) /10	3 л
Общую вместимость секции	4 дм <sup>3</sup>	
Дозировочный расход раствора реагента	3/24	0,125 л

Основными элементами схемы являются герметичная камера, водоструйный эжектор, сатуратор насыщенного водного раствора фтористого натрия, мерник, расходный бак разбавленного раствора реагента, циркуляционные электронасосы, механический фильтр, ротаметр и конфузорная вставка – смеситель. При  $t = 30^{\circ}\text{C}$  предельная растворимость фтористого натрия в воде равна  $C_{np} = 42 \text{ кг/м}^3$ . Принимаем полезную емкость сатуратора  $V_c = 1 \text{ м}^3$ , для периодической загрузки его реагентом в количестве 50 кг, содержащимся в одном фанерном барабане. Охлажденный дистиллят имеет температуру на уровне  $30^{\circ}\text{C}$ , что обеспечивает постоянную концентрацию реагента в присутствии избытка его в сатураторе.

В качестве дезинфицирующего средства использовался гипохлорит натрия дозировкой  $1,5 \text{ г Cl}_2/\text{м}^3$ .

Табличная форма получения геометрических размеров и технологических параметров кондиционирования и стабилизации загрязненных природных вод позволяет достаточно легко определить состав сооружений и размеры мобильной установки (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Общий вид модульной станции:

а – общая схема; б – компоновка оборудования 1- промывной бак; 2 – фильтры обогащения  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ; 3 – смеситель; 4 – контактная емкость; 5 – фильтр с активированным углем; 6 – циркуляционный бак; 7 – стабилизация и фторирования воды; 8,9 – подающие трубы исходной и промывной воды; 10 – удаление промывной воды.

Результаты расчета показывают, что все необходимое оборудование для



станции производительностью 20 м<sup>3</sup>/ч может быть размещено в морском контейнере размером 6,0х2,5 м. Параллельная установка второго контейнера даст возможность увеличения производительности станции в два раза.

Вне зависимости от того, насколько сложно или просто устроена станция, ее главная задача – это приготовление качественной воды с высокой продуктивностью. Предполагается долгий срок работы станции при должном техническом обслуживании и своевременной замене элементов по истечению срока эксплуатации. [104-105]

## Заключение

1. Новизна в решении проблемы улучшения качества природных вод состоит как в создании новейших методов кондиционирования вод, так и в нетрадиционном принципиальном подходе – использовании мембранного и дистилляционного методов опреснения для обеспечения полноценного физико-химического состава и обеззараживания питьевой воды.

2. Процесс обработки некондиционной воды, заключающийся в обогащении природной морской и подземной воды гидрокарбонатом кальция, рассмотрен в гетерогенной фазе с использованием кальцийкарбонатсодержащих материалов ( $\text{CaCO}_3$ ) и диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ). Показано, что процесс обогащения ограничен лишь химической кинетикой и не зависит от состояния потока и коэффициента диффузии. Установлено, что повышение температуры процесса, например, с 4,85 до 39,85°C ведет к увеличению константы скорости химической реакции в 2,3 раза. При переходе от гетерогенной реакции  $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2$  к гомогенной  $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$  в идентичных условиях константа увеличивается с  $2,75 \text{ дм}^3 \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$  до  $9,9 \text{ дм}^3 \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ , т.е. почти в 4 раза.

3. В результате опытов по анализу интенсификации фильтрационного обогащения имитата пермеата обратного осмоса 2ой стадии при помощи минеральной кислоты установлено, что рН снижается до 7,8, щелочность до 0,4 мг-экв/дм<sup>3</sup>, жесткость до 0,02 мг-экв/дм<sup>3</sup>

4. Применение растворов фтористого натрия с содержанием фтора 45,3% и кремнефтористого натрия с содержанием фтора 64% показало эффективность во фторировании некондиционной воды.

5. Использование метода ионного обмена с применением высокоселективной анионообменной смолы S-108 показало высокую эффективность в деле очистки грунтовых вод от бора. Применялся режим постоянной регенерации. Смола способна служить 6 лет с ежегодной дозагрузкой 3%.

6. Экспериментально установлено, что преобразованный в Na-форму клиноптилолит Холинского месторождения действует как ионообменник по

отношению к катионам жесткости. Определена общая ДОЕ клиноптилолита по катионам жесткости и стабильному стронцию, которая соответственно составила 1076,3 мг-экв/дм<sup>3</sup> и 176,4 мг-экв/дм<sup>3</sup> загрузки. Доля общей обменной емкости клиноптилолита по стронцию составляет 16.4%, что свидетельствует о достаточном уровне селективности клиноптилолита по Sr<sup>2+</sup> при отношении концентрации Sr: Жоб = 0,73: 10,25 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Эффективность очистки воды от стронция до норм ПДК в три раза выше по сравнению с катионами жесткости (Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>), а эффективность полной сорбции выше в шесть раз.

7. Результаты данной исследовательской работы включены в рекомендации по проектированию станции очистки и кондиционирования питьевой воды из обессоленного дистиллята продуктивностью 12000 м<sup>3</sup> / сутки. Принцип работы станции положен в основу проектировки контейнерного модульного оборудования с производительностью на 480 м<sup>3</sup> в сутки.

#### **Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:**

1. Дальнейшее изучение методов очистки и кондиционирования воды, создание наиболее эффективных, технологичных и экологичных способов, не содержащих химикаты и использующих солнечную энергию.
2. Дальнейшие разработки малогабаритных мобильных портативных станций подготовки питьевой воды без использования традиционного источника энергии, поскольку во многих странах мира доступ к постоянному снабжению питьевой водой из водопровода затруднен для части населения.
3. Дальнейшие исследования интенсификации гетерогенных процессов кондиционирования воды
4. Поиск наиболее эффективных и безопасных методов обеззараживания воды, поскольку применение традиционных химических дезинфицирующих средств может представлять риск для здоровья человека.
5. Дальнейшая оптимизация в проектировании установок подготовки питьевой воды (УППВ)

## Приложения

Таблица П.1.Современные требования к качеству питьевой воды

Показатели	Нормативы					
	Ирак	СанПиН 2.1.4. 1074-01	ВОЗ	ЕЭС	Проект ГОСТ Р	
					первый уровень	второй уровень
1	2	3	4	5	6	7
	Органолептические показатели					
Внешний вид	-	-	-	-	-	-
Запах, баллы	Должны быть	≤	Должны быть	2-3	<	должны быть
Привкус, баллы	приятными	≤	приятными	2-3	<	приятными
Мутность, ЕМФ/л	5	≤2,6 (1,5 мг/л)	≤2,0	≤2,6	≤2,6	≤1,0
	Токсикологические показатели					
Алюминий Al, мг/дм <sup>3</sup>	0,2	≤0,5	≤0,2	≤0,2	≤0,5	≤0,2
Барий Ba, мг/дм <sup>3</sup>	0,7	≤0,1	≤0,7	≤0,1	≤0,1	≤0,1
Бериллий Be, мг/дм <sup>3</sup>	-	≤0,0002	-	-	≤0,0002	≤0,0002
Бор B, мг/дм <sup>3</sup>	-	≤0,5	≤0,3	≤0,3	≤0,5	≤0,3
Кадмий Cd, мг/дм <sup>3</sup>	≤0.003	≤0,001	≤0.003	≤0,005	≤0,001	≤0,001
Молибден Mo, мг дм <sup>3</sup> / дм <sup>3</sup>	≤0,07	≤0,25	≤0,07	-	≤0,25	≤0,07
Мышьяк As, мг/дм <sup>3</sup>	≤0,01	≤0,05	≤0,01	≤0,01	≤0,05	≤0,01
Никель Ni, мг/дм <sup>3</sup>	0,02	≤0,1	≤0,02	≤0,02	≤0,1	≤0,02

Ртуть Hg, мг/дм <sup>3</sup>	≤0,001	≤0,0005	≤0,001	≤0,001	≤0,0005	≤0,0005
Свинец Pb, мг/дм <sup>3</sup>	≤0,01	≤0,03	≤0,01	≤0,01	≤0,03	≤0,01
Селен Se, мг/дм <sup>3</sup>	0,01	≤0,01	≤0,01	≤0,01	≤0,01	≤0,01
Стронций Sr, мг/дм <sup>3</sup>	-	≤7,0	-	-	≤7,0	≤7,0
Фториды F <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	1,5	1,2-1,5	1,5	1,5	1,5-0,7	1,5-0,7
Хром Cr, мг/дм <sup>3</sup>	≤0,05	≤0,05	≤0,05	≤0,05	≤0,05	≤0,05
Цианиды CN, мг/дм <sup>3</sup>	0,02	≤0,035	≤0,07	≤0,05	≤0,035	≤0,035
Линдан, мг/дм <sup>3</sup>	≤0,002	≤0,002	≤0,002	-	≤0,002	0
ДДТ, мг/дм <sup>3</sup>	≤0,002	≤0,002	≤0,002	-	≤0,002	0
2.4 –Д, мг/дм <sup>3</sup>	≤0,03	≤0,03	≤0,03	-	≤0,03	0
Атразин, мг/дм <sup>3</sup>	≤0,002	-	≤0,002	-	-	-
Симазин, мг/дм <sup>3</sup>	≤0,002	отс	≤0,002	-	-	-
Бензол, мг/дм <sup>3</sup>	≤0,01	≤0,01	≤0,01	-	≤0,01	0
Бенз-(а)-пирен, мг/дм <sup>3</sup>	≤7·10 <sup>-4</sup>	≤5·10 <sup>-6</sup>	≤7·10 <sup>-4</sup>	-	≤5·10 <sup>-6</sup>	0
Фенолы, мг/дм <sup>3</sup>	-	≤0,001	-	≤0,0005	фенольный индекс 0,25 0,25	
Солевой состав и показатели, влияющие на органолептические свойства						
Водородный показатель рН	6,5–8,5	6,0-6,9	-	6,5-9,5	6,0-9,0	6,5-8,5
Жесткость общая, мг- экв/л	5	≤7,0	-	-	≤7,0	1,5-7,0
Нефтепродукты, суммарно, мг/дм <sup>3</sup>	-	≤0,1	-	-	≤0,1	≤0,1
ПАВ, мг/дм <sup>3</sup>	0,2	≤0,5	-	≤0,2	≤0,5	≤0,2
Общая минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	1000	≤1000	≤1000	≤1500	≤1000	≤500

Железо Feобщ, мг/дм <sup>3</sup>	0,3	≤0,3	≤0,3	≤0,2	≤0,3	≤0,05
Марганец Mn, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,05	≤0,1	≤0,1
Медь Cu, мг/дм <sup>3</sup>	1	≤1,0	≤1,0	≤3,0	≤1,0	≤1,0
Цинк Zn, мг/дм <sup>3</sup>	3,0	≤5,0	≤3,0	0,1-5,0	≤5,0	≤3,0
Калий K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	-	-	-	≤12	-	-
Кальций Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	50	-	-	≤100	-	-
Магний Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	50	-	-	≤50	-	-
Натрий Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	200	-	-	≤150	-	-
Сульфаты SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	250	≤500	≤250	≤250	≤500	≤250
Хлориды Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	250	≤350	≤250	-	≤350	≤250
Нитраты NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	50	≤45,0	≤50,0	≤50,0	≤45,0	≤25,0
Нитриты NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	3	≤3,0	≤3,0	≤0,1	≤3,0	≤0,1

Таблица П.2 –Техническая характеристика фильтров ВФ-4 с автоматической промывкой (серия ВФ-2Т)

№	Наименование	Ед. измер.	Величина, характеристика
1	Направление фильтрования		сверху - вниз
2	Расчетный расход	м <sup>3</sup> /ч	0,25
3	Линейная скорость фильтрования при расчетном расходе: при нормальном расходе при форсированном расходе (не более 30 мин)	м/ч м/ч	7,14 9,30
4	Расчетное время контакта в загрузке при нормальном режиме	мин	4,8
5	Потери напора в фильтре	м	0,3
6	Продолжительность фильтроцикла	ч	24
7	Тип промывки		обратный поток воды
8	Время промывки при расходе 0.25 м <sup>3</sup> /ч	мин	7-12
9	Расширение загрузки	%	20-40
10	Рабочее давление на входе	кг/см <sup>3</sup>	2,5
11	Диаметр патрубков (вход: выход : дренаж)	мм	25 :25 : 15
12	Материал корпуса - пищевой полиэтилен высокой плотности		
13	Наружное покрытие корпуса - стекловолокно на эпоксидной смоле		
15	Мощность блока управления, не более Вт	100	
16	Масса фильтра	кг	40
17	Расстояние от задней части фильтра до стены, не менее	Мм	400
18	Длина дренажной линии (от блока управления) до входа в канализацию	м	<5
19	Габариты фильтра: -высота -диаметр -площадь	мм мм м <sup>2</sup>	1290 210 0,035

20	Тип фильтрующей загрузки (алюмосиликат марки AG или гранулированная керамика): -крупность - высота слоя - объем - объем подстилающего слоя гравия	мм м дм <sup>3</sup> дм <sup>3</sup>	0,5-1 0,57 20 2,5
21	Объем фильтрата за фильтроцикл	м <sup>3</sup>	6,4
22	Воздух в помещении: -температура -влажность	°С %	5-40 <70



## Список литературы

1. R. Khamis, Water statistics - Environmental Statistics cycle [Электронный ресурс]/ Damascus, 17-11 August 2005-Режим доступа: <http://www.4enveng.com/pdetails.php?id=166> (дата обращения: 20.02.2015).
2. Akanda, A., Freeman, S. and Placht, M. The Tigris-Euphrates River Basin: Mediating a Path towards Regional Water Stability / A. Akanda, S. Freeman, and M. Placht // The Fletcher School Journal for Issues Related to Southwest Asia and Islamic Civilization, Spring, Al Nakhlah,- 2007.- P. 1-12.
3. Al-Ansari, N.A. "Management of Water Resources in Iraq / N.A. Al-Ansari // Perspectives and Prognoses", J. Engineering, -2013. - № 5 - P. 667-684.
4. Al-Ansari N. A. and Knutsson S., «Toward Prudent Management of Water Resources in Iraq» Journal of Advanced Science and Engineering Research, Vol. 1, 2011, pp. 53-67.
5. Al-Ansari, N. A. «Water Resources and Environment of Iraq» Internal Report, Lulea University, Lulea, 2010, p. 71.
6. Al-Shahrabaly Q., "River Discharges for Tigris and Euphrates Gauging Stations," Ministry of Water Resources, Baghdad, 2008.
7. Онищенко Г.Г. Эффективное обеззараживание питьевой воды – основа профилактики инфекционных заболеваний// Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 12. ч.1. С. 8-12.
8. Крушенко Г.Г., Сабирова Д.Р., Петров С.А., Талдыкин Ю.А. Проблема воды // Вода и экология. - 2000. - № 3, с. 2-8.
9. Винокурцев Г.Г. Защита от коррозии подземных трубопроводов и сооружений. //Г.Г. Винокурцев, В.В.Первунин, В.А.Крупнин, А.Г.Винокурцев Ростов н/Д: Рост.гос.строит.ун-т, 2003, 124 с.
10. Питьевое водоснабжение // Экологические Нормы. Правила. -2007. - №3, с. 14-24.
11. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: СанПиН 2.1.4.1074-01-2001. -№48, с.3-54.

12. Волкотруб Л.П., Егоров И.М. Питьевая вода Томска гигиенический аспект. Томск. Изд-во Науч.тех.литер. 2003, 184 с.
13. Guidelines for Drinking-water Quality. 3rd ed. vol. 1: recommendations. Geneva: WHO; 2004. Available from: <http://www.who.int/iris/handle/10665/42852>
14. Зейферт, Д. В. Качество воды централизованных систем питьевого водоснабжения- пить или не пить / Д. В. Зейферт, И. В. Овсянникова, М. В. Макарова // Экологический вестник России. - 2013 - № 7 - С. 30-33.
15. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. СанПиН 2.1.4.1116-02. М.: Минздрав, 2002, 27 с.
16. Ткачев П.Г., Бубнов Д.Н., Легова И.П. Органолептические свойства как интегральный показатель качества питьевой воды // Качество питьевой воды, водоотведение. Рязань. 2002, с. 209-211
17. Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И., Севостьянова Е.М. / Физиолого-гигиенические основы нормирования содержания биогенных элементов в воде. // Экологический Вестник России -2008. - №5, с. 36-37.
18. Чурина С.К., Янушкене Т.Е., Есчанова Г.Т, Макаров В.Л. Дефицит магния в питьевой воде... // Бюлл. экспериментальной биологии и медицины. - 1999. - № 2, с. 183-185.
19. Критерии вредности при гигиенической оценке качества воды / Г.Н. Красовский, Т.С. Егорова, Т.С. Доргачева, М.Г. Антонова // Качество воды. Рязань: 2000.1. с. 193-195.
20. Борзунова Е.А., Кузьмин С.В., Акрамов Р.Л., Киямова Е.Л. // Оценка влияния качества питьевой воды на здоровье населения. // Гигиена и Санитария -2007. - №3, с. 32-34.
21. Жиляков А.М., Дружинин М.В., Росоловский А.П. К вопросу изучения вероятностного влияния хлороформа питьевой воды на онкологическую заболеваемость населения/Окружающая среда и здоровье: Суздаль, 2005, с. 58-60.

22. Макаров В.Л. Коррекция минерального состава питьевой воды как метод профилактики экологически обусловленных заболеваний // Экол. вест. 2003.- №7, с. 52-54.
23. Алексеев Л.С. Контроль качества воды: учебник. 3-е изд., перераб. и доп. -М.: ИНФРА-М, 2004, 154с.
24. МУ 2.1.4.1184-03 «Методические указания по внедрению и применению санитарно - эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.1.4.1116-02 «Питьевая вода. Контроль качества».
25. Онищенко Г.Г. Материалы Второго Всероссийского форума «Здоровье нации основа процветания России» М.2006, 9 с.
26. Вахнин И.Г., Рахманин Ю.А., Ивлева Г.А. и др. Кондиционирование опресненной дистилляцией воды. - Киев: Наукова Думка, 1990, 248 с.
27. Алексеев Л.С. Улучшение качества мягких вод / Л.С.Алексеев, В.А.Гладков. - М.: Стройиздат, 1994, 150 с.
28. Амосова Э.Г., Долгополов П.И., Мотовилова Н.Б., Долгополов А.П. Исследование процессов регенерации анионита АН-31 при повышенном содержании органических веществ в воде на ГРЭС-5 АО «Мосэнерго» // Теплоэнергетика. 2006. № 8. с. 26-30.
29. Первов А.Г. Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой и технической воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация / Монография – М.: Изд. строительных вузов, 2009, 232 с.
30. Гришин А.А., Ларин Б.М., Малахов И.А., Федосеев Б.С. Исследование сорбции-десорбции на анионитных фильтрах органических примесей природных вод // Теплоэнергетика. 2004. № 7. с. 8-11.
31. Десятов А.В., Графов Д.Ю, Прохоров И.А., Кандыков С.Г., Ширкова В.В., Молоканова Л.Г., Орелович О.Л., Апель П.Ю., Асеев А.В. Трековые мембраны на основе поливинилиденфторида, тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Мембраны-2007», 2007, с. 181.

32. Плескач Л.И. Новые представления о механизме магнитной обработки воды: докл. /Л.И. Плескан, Г.Д. Чиркова // Алматы, 19-21 окт., 2004. Вестн. КазНУ.- Сер. хим,-2004.- №4, с. 238-241.
33. Алексеев Л.С. Регламентация расхода и качества воды в агропромышленном комплексе: учебное пособие– М.: Рос. аграр. заоч. ун-т, 2006, 160 с.
34. Практическая конференция «Хозяйственно-питьевая и сточные воды: проблемы очистки и использования», май 2002г. Пенза: Изд-во «Приволжский Дом знаний», 2002. с.69-71.
35. Бражкин А.В. Вода и здоровье населения / А.В. Бражкин, Н.В. Зайцева // Вода России. Экосистемные управления водопользованием / ФГУП РосНИИВХ. Екатеринбург: АКВА-ПРЕСС, 2002. Гл 4. с. 195-213.
36. Кокшарова Г. П. Достоверность результатов бактериологических исследований воды // М.: ЗАО «Фирма Сибико Интеррэшнл», 2000. с. 830-831.
37. Безматерных Н.С. Питьевая вода / Н.С. Безматерных, Н.Б. Прохорова, А.М. Черняев // Вода России. Социально-экологические водные проблемы / ФГУП РосНИИВХ. Екатеринбург: АКВА-ПРЕСС, 2002. Гл. 7. с. 226-230.
38. Водные ресурсы Свердловской области / ФГУП РосНИИВХ. Екатеринбург: АМБ, 2004, 432 с.
39. Михайлова, Р. И. Особенности гигиенической оценки питьевых вод для детей / Р. И. Михайлова, Е. М. Севостьянова, Д. В. Рахманин // Экологический вестник России. - 2008 - N 6 - С. 34-35.
40. Вред обессоленной воды [Электронный ресурс] <http://www.o8ode.ru/article/dwater/nosaltwater.htm>. (дата обращения: 20.03.2017).
41. Ивлева Г.А., Сундетов Ж., Асеев А.В., Баранов А.Е. Технологии кондиционирования опересненной морской воды при помощи карбонатного песка: материалы Межд. науч.-практ. конф. Актау, 2003, с. 54-71.
42. Алексеев Л.С. Контроль качества воды: Учебник. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2009, 159 с.

43. Белоконова Н.А. О необходимости контроля качества питьевых вод по содержанию общего органического углерода // Экологическая химия. 2003. Т. 12, Вып. 3. с. 197-199.
44. Концевой А.Л., Концевой С.А. Углекислотное равновесие и воднохимический режим охладительных систем// Энерг. и электриф. 2004.-№9, с.8-10,56.
45. Саламов А.А. Развитие методов водоподготовки // Теплоэнергетика. 2003. № 7. с. 76-78.
46. Физикохимия воды и водных растворов: Учебное пособие / А.Ф.Никифоров, Е.В. Мигалатий, В.И. Аксёнов и др. Екатеринбург: ГОУ УГ-ТУ-УПИ, 2003, 92с.
47. Water Treatment Storage Facilities Handbook / American Water Works Association. -N.Y.: McGraw-Hill Handbooks, 2002, 700 p.
48. W. Dabrowsky, R.t Bucht, R. Ian Mackie. Impact of water blending on calcium carbonate equilibrium in water distribution systems//Journal of environmental engineering ASCE.- 2004. №9. - v. 130.
49. Журба М. Г., Соколов Л. И., Говорова Ж. М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. Т. 2. Очистка и кондиционирование природных вод: Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2004, 493 с.
50. Основы аналитической химии / Ю.А. Золотов и др. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2002, 845 с.
51. Мамченко А.В., Кий Н.Н., Чернова Л.Г. Исследование влияния способов модификации природного доломита на деманганацію воды. // Химия и технология воды. 2008. Т.30. Вып 4. с. 347-357.
52. Ивчатов А.Л. Химия воды и микробиология / А.Л. Ивчатов, В.И. Малов. -М.: ИНФРА М.: 2006, 218 с.
53. Золотов Ю. А. Химические тест-методы анализа / Ю.А. Золотов, В.М. Иванов, В.Г. Амалин. М.: Едиториал УРСС, 2002, 304 с.
54. Бартл К. Некоторые аспекты обработки питьевой воды активированным углем // Мат. конф. "Акватерра". - СПб. – 1999, с. 23-24.
55. Ларин Б.М. Исследование импортных ионитов для обработки природных вод с повышенным содержанием органических примесей / Б.М. Ларин, Н.В.

- Виноградов, А.Б. Ларин, В. А. Доможиров // Теплоэнергетика. 2006. № 8. с. 10-13.
56. Системы очистки воды. Компания «Kaufmann Technology» [Электронный ресурс]/ <http://www.kaufmanntec.ru/publics.htm> (дата обращения: 27.05.2015).
57. Махотина И.Г. Гигиеническое обоснование использования подземных и дренажных вод для целей питьевого водоснабжения: Автореф. дисс.канд. мед. наук: 14.00.07 «Гигиена» /ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана. М., 2002, 24 с.
58. Производство пластиковых бутылей для воды. [Электронный ресурс]/ [http://www.o8ode.ru/article/dwater/butil/proizvodctvo\\_butilirovannoi\\_vody.htm](http://www.o8ode.ru/article/dwater/butil/proizvodctvo_butilirovannoi_vody.htm) (дата обращения: 27.01.2015).
59. Рыжаков А.В. Биохимическая трансформация некоторых азотсодержащих органических соединений в природной воде / А.В. Рыжаков, П.А. Лозовик, А.А. Куринная // Экологическая химия. 2002. № 11(4).1. с. 237-240.
60. Розлив бутилированной воды: выбор метода предварительной очистки. [Электронный ресурс]/ <http://www.newchemistry.ru.htm> (дата обращения: 17.09.2014).
61. Журба М. Г. Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой: Научное издание. – М., 2011, 536 с.
62. Производство питьевой бутилированной воды. [Электронный ресурс]/ <http://h2o.ru/fact/proizvodstvo-butirovannoy> (дата обращения: 17.09.2014).
63. Журба М. Г., Говорова Ж. М., Куликовский В. А. и др. Подготовка питьевой воды из зарегулированных водоисточников с повышенным содержанием органических веществ // Водоснабжение и канализация. 2009. № 7.
64. Чупин В.Р. Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения. В.Р. Чупин, Е.С. Мелехов, Р.В. Чупин / М.: Изд-во АСВ. 2011. 325 с.
65. В.И. Щербаков, Аль-Амри Заед Садик Абрахем. Кондиционирование воды из подземных источников для производства бутилированной воды / В.И. Щербаков, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Высокие технологии. Экология. 2015. -С. 151-155.

66. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М., Наука, 2004, 677с.
67. Говоров О.Б. Исследование и опыт внедрения инновационных технологий кондиционирования подземных вод// О.Б. Говоров, Ж.М. Говорова, А.Н. Квартенко. Водоснабжение и санитарная техника. 2014. №9. С. 38-47.
68. Алексеев Л.С., Ивлева Г.А., Аль-Амри Заед Садик Абрахем. Антропогенное загрязнение подземных вод России и их очистка для питьевых нужд / Л.С. Алексеев, Г.А. Ивлева, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // научно-техн. конференции. Бийск. 2012. - С. 8-14.
69. Щербаков В.И., Аль-Амри Заед Садик Абрахем. Оценка запасов и ресурсов подземных вод в Ираке/ В.И. Щербаков, Заед Садик Абрахем Аль-Амри. // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Высокие технологии. Экология. 2016. – С. 152-156.
70. Щербаков В.И., Аль-Амри Заед Садик Абрахем. К оценке запасов и качества подземных вод в Ираке / В.И. Щербаков, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // Сб. докладов науч.-практ. конф. «Яковлевские чтения». Москва, 2016. -С. 167-171.
71. Журба М. Г., Магомадов З. Р., Лебедева Е. В. Управление процессами коагулирования воды на основе теории ДЛФО. / Технологии развития городского водохозяйственного комплекса. – М.: Прима-Пресс Экспо, 2007. Вып. 7.
72. Язвин Л.С. Оценка прогнозных ресурсов питьевых подземных вод и обеспеченность населения России подземными водами для хозяйственно-питьевого водоснабжения. М., «Разведка и охрана недр», 2003, с. 13-20.
73. Производство бутилированной воды сокращается [Электронный ресурс]/ [http://aquaguide.ru/content/543/proizvodstvo\\_butilirovannoj\\_vody\\_sokrawaetsya.html](http://aquaguide.ru/content/543/proizvodstvo_butilirovannoj_vody_sokrawaetsya.html) (дата обращения: 17.09.2014)..
74. Ерохин М.А. Минерализация опреснённой воды с применением материалов, содержащих CaCO<sub>3</sub>. Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.17.01 -М: 2008, 28 с.

75. Ивлева Г.А. Использование пермеата обратноосмотической установки в технологии приготовления питьевой воды // Труды ин-та ВОДГЕО «Глубокая очистка воды из источников повышенной загрязненности», 1991 г.
76. Sanz M.A., Bonnelyea V.E., Cremer G., Fujairah reverse osmosis plant: 2 years of operation. *Desalination* 203 (2007) , с. 91-99.
77. Десятов А.В., Асеев А.В. и др. Влияние температуры на процесс обратноосмотического опреснения воды Каспийского моря: Мембраны. 2007, №3, с. 28-40.
78. Егоров А.В., Воробьева М.Г., Голиков А.Л., Извольский И.М., Прохоров И.А. Исследование селективности обратноосмотических мембран по соединениям бора в различных условиях, Центр Келдыша инв. - № 3774, - 2003. - с. 53-69.
79. Годымчук А.Ю. Технология изготовления силикатно-карбонатных сорбентов для очистки воды от катионов тяжелых металлов // Дисс. на соискание уч. степ. к.т.н. Томск. 2003, 141 с.
80. Алексеев Л.С. Совершенствование методов стабилизационной водообработки для регламентирования качества и расхода воды в агропромышленном комплексе. Автореф. дис...докт. техн. наук: 05.23.04-М: 2006, 50 с.
81. Горбачёв Е.А. Проектирование очистных сооружений водопровода из поверхностных источников: Учебное пособие/ Е.А. Горбачёв - Н. Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. 2003, 238 с.
82. Вахнин И.Г., Рахманин Ю.А., Ивлева Г.А. и др.// Кондиционирование опресненной дистилляцией воды // Изд-во «Наукова думка», Киев:1990, 248с.
83. А.С. № 1409595 СССР МКИ<sup>3</sup> С 02 F 5/02. Способ стабилизации опреснённой дистилляцией солёной воды [Текст] / Алексеев Л.С. (СССР). –№4069621/29-26; заявл. 21.05.86; опубл.15.07.88, Бюл. №26, 2 с.
84. Алексеев Л.С., Аль-Амри Заед Садик Абрахем. Роль карбонатной системы в пресных рыбохозяйственных водоёмах // Электронный вестник Российского государственного аграрного заочного университета. -2012. -ч 1. [http://edu.rgazu.ru/file.php/1/vestnik\\_rgazu](http://edu.rgazu.ru/file.php/1/vestnik_rgazu).
85. Щербаков В.И., Алексеев Л.С., Ивлева Г.А., Аль-Амри Заед Садик Абрахем.



- Исследование фильтрационной кальцинации мягких питьевых вод // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Высокие технологии. Экология. 2013. -С. 72-77.
86. Щербаков В.И., Аль-Амри Заед Садик Абрахем, Помогаева В.В. Исследование методов кондиционирования опреснённой воды для питьевых нужд (в условиях Ирака) //Научный вестник Воронежского гос. арх. –стр. ун-та. Строительство и архитектура. 2016. № 4 (44). С. 64-70.
87. Рахманин Ю.А. Гигиенические основы дистилляционного опреснения воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Автореф. – дисс... д-ра мед. наук: - М. -1980, 31 с.
88. Смирнов В.А. Усовершенствование технологии обогащения опреснённой воды гидрокарбонатом кальция: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.04. -М.: 1992, 21с.
89. Ивлева Г.А. Кондиционирование опресненной воды для питьевых целей [Электронный ресурс]. -Межд. науч.-практ. семинар «Мир воды- 2003», г. Обнинск. — Электрон. Опт. диск (CD-ROM).
90. Сомов М.А., Журба М.Г. Водоснабжение: Учебник для вузов в 2-х томах. - М.: Издательство АСВ, 2008, 557 с.
91. Алексеев Л.С., Ивлева Г.А., Амри Заед Садик Абрахем. Интенсификация фильтрационной кальцинации мягких питьевых вод// Сб. докладов науч.-практ. конф. «Яковлевские чтения». Москва, 2012. -С. 53-59.
92. Прохоров И. А. Очистка воды Каспийского моря от примесей бора и промышленное получение воды питьевого качества: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.17.01 - М., 2009, 20 с.
93. M. Busch, W.E. Mickols, S. Jons, J. Redondo, J. De Witte. Boron removal al in Sea Water Desalination/DA World Congress, Bagamas, (2003). -р.6.
94. Обзор рынка бора и боратов в СНГ и прогноз его развития в условиях финансового кризиса. Москва: Инфо Майн, 2009. С 12.
95. Алексеев Л.С., Ивлева Г.А., Аль-Амри Заед Садик Абрахем. Очистка подземных вод питьевого назначения от бора // Вестник МГСУ. -2011.-№8. -С. 312-316.

96. Щербаков В.И., Алексеев Л.С., Ивлева Г.А., Аль-Амри Заед Садик Абрахем. Очистка подземных вод от лимитирующих микроэлементов // Сборник научных трудов Sworld. Современное состояние и пути развития. Межд. науч.-практ. конф. Одесса, 2012. Т.28.-С.12-16.
97. Алексеев Л.С., Ивлева Г.А., Аль-Амри Заед Садик Абрахем. Бор - пути очистки питьевой воды // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2013. № 5 (137). С. 16-19.
98. Способ очистки питьевой воды от стронция: патент 2032626(13) С1 РФ. - № 4953765/26; / В.А. Никашина, Е.В. Зайцева. –заявл. 06.28.91. опубл.04.10.95.
99. Зухурова М.А. Электрохимическое поведение стронция (II) в водно-спиртовых растворах: дис...канд. хим. наук: 02.00.04. Душанбе: Таджикский национальный университет, 2009, 165 с.
100. Bedeleian H., Maicaneanu A., Burca S., and Stanca M. Removal of heavy metal ions from wastewaters using natural clays. Clay Minerals 44: 2009. p. 487-495.
101. Санджиева Д.А. Сорбционное концентрирование на природных минеральных сорбентах как основа очистки природных и сточных вод. – Астрахань: Астраханский государственный университет, 2005, 125 с.
102. Щербаков В.И., Аль-Амри Заед Садик Абрахем. Очистка питьевой воды от стронция фильтрационным методом с применением клиноптилолита // Вестник МГСУ. -2017.-№ 4. -С. 457-463.
103. Щербаков В.И., Аль-Амри Заед Садик Абрахем. Подготовка некондиционных вод для хозяйственно питьевых нужд в Ираке // Сб. докладов науч.-практ. конф. «Яковлевские чтения». Москва, 2017. -С. 230-240.
104. Щербаков В.И., Аль-Амри Заед Садик Абрахем. Расчёт основных узлов и вспомогательных устройств установки приготовления питьевой воды// "ТЕХНОВОД-2021". материалы XIII Межд. науч.-практ. конф. Новочеркасск, 2021. С. 156-166.
105. Щербаков В.И., Аль-Амри Заед Садик Абрахем. Проектирование и расчет параметров мобильной станции приготовления питьевой воды // Сб. докладов науч.-практ. конф. «Яковлевские чтения». Москва, 2022. С. 147-155.

**Условные обозначения**

А	-предэкспоненциальный множитель;
АГ	-активированный уголь;
БРОУ	биоразлагаемый растворенный органический углерод
ВОЗ	-Всемирная организация здравоохранения;
ВЭ	-водоструйный эжектор;
ГПА	-горизонтально-плёночный аппарат;
ГАУ	гранулированный активированный уголь
ДКР	-диффузорная камера растворения;
ДОЕ	-динамическая обменная емкость;
ДУ	-диоксид углерода;
ДОУ	-дистилляционная опреснительная установка;
ЕЭС	-Европейское экономическое сообщество;
ЕМФ	-единица мутности по Формазину;
ЗСО	- зона санитарной охраны;
ИП	-имитатпермеата;
НСФ	-намывной сорбционный фильтр;
ООУ	-обратно-осмотическая установка;
П	- степень перемешивания каждой фазы (газа и воды в аппарате);
ПАВ	-поверхностно-активное вещество;
ПГС	-парогазовая смесь;
ПДК	-предельно допустимая концентрация;
ПКШ	-платинокобальтовая шкала;
ПО	-перманганатная окисляемость;
ПОВ	природные органические вещества
ППД	Побочные продукты дезинфекции
СДУ	-сдувочный диоксид углерода;
СППВ	-станция приготовления питьевой воды;
СФ	-сорбционный фильтр;

$\Delta C$	-движущая сила процесса, выраженная разностью текущей и равновесной концентрации диоксида углерода в воде;
$C$	- концентрации диоксида углерода в воде;
$C_H$	- концентрация насыщения $CO_2$ в воде при нормальных условиях;
$C_0$ и $C_\tau$	-концентрация $CO_2$ в воде соответственно до и после её кальцинации;
УППВ	-установка подготовки питьевой воды;
ФО	-фильтр обогащения воды карбонатом кальция;
(ЭДА)	-электродиализный аппарат;
$E_a$	- энергия активации реагирующих веществ;
$F$	-поверхность контакта фаз;
$H$	- высота фильтрующего слоя;
$K$	- константа скорости реакции;
$K_S$	-константой равновесия;
$K_V$	-коэффициент диффузии;
$n_0$	-число циклов;
$P$	-давление;
$R$	- (универсальная) газовая постоянная;
$s$	-площадь фильтра;
$V$	- объём системы;
$T$	- температура;
$\rho$	- плотность воды;
$\tau$	- время контакта;
$\tau_0$	- время эксперимента;
$\mu$	- вязкость воды;
$\sigma$	- поверхностное натяжение воды;
$v$	- относительная скорость движения фаз;
$v_i$	- скорость фильтрования;
$v_k$	- скорость реакции;