

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

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Москва – 2023**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный технический университет».

**Научный руководитель:**

**Щербаков Владимир Иванович**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Гришин Борис Михайлович**  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Водоснабжение,  
водоотведение и гидротехника», ФГБОУ ВО  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»

**Онкаев Виктор Аджиевич**  
кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Промышленное и  
гражданское строительство» ФГБОУ ВО  
"Калмыцкий государственный университет  
имени Б.Б. Городовикова"

**Ведущая организация:**

АО «НПК МЕДИАНА-ФИЛЬТР» - ведущее  
предприятие в области водоподготовки и  
очистки сточных вод

Защита диссертации состоится 20 сентября 2023 г. в 15:00 (по местному времени) на заседании диссертационного совета 24.2.339.03 созданного на базе ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» по адресу: 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, студия № 9 «Открытая сеть».

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» и на сайте [www.mgsu.ru](http://www.mgsu.ru)

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета



Орлов Владимир Александрович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время естественное решение проблемы микроминерального обеспечения организма – это, прежде всего, приближение состава питьевой воды к естественному минеральному фону, наиболее благоприятному для человека. Для этого питьевая вода должна быть не только очищена от примесей, но и приближена по-своему микроминеральному составу к лучшим природным эталонам. Просто очищенная от солей опреснённая вода – это вода «мёртвая», а организму человека нужна доброкачественная вода.

В мире с каждым годом растёт проблема дефицита качественной питьевой воды. Особенно остро обстоит ситуация в Ираке. В последнем докладе Bloomberg Ирак занял 42-е место в категории "высокого риска" дефицита воды в связи с ростом населения, промышленным и сельскохозяйственным развитием и другими факторами.

### **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 и др.

**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 внедрении 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. 2012-2021 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».

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, изложены научная новизна и практическая значимость, личный вклад соискателя и сведения об апробации работы.

**В первой главе** освещены вопросы запасов и качества подземных вод в Ираке, растущей важности их использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения и орошения в Ираке. Рассматривается физико-химический состав некондиционных вод, в том числе высокоминерализованных, опреснённых методами термической дистилляции, электродиализа, ионного обмена, вымораживания и обратного осмоса. Приведен состав подземных вод в естественных условиях и при техногенной нагрузке на водоисточник.

**Во второй главе** представлены теоретические и технологические основы улучшения качества подземных вод для питьевого водоснабжения. Большинство методов подготовки некондиционных вод для хозяйственно-питьевых нужд осуществляются по схеме гетерогенных процессов. Для конструктивного оформления этих процессов выявлены технологические особенности их протекания. 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. 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 фазах ионы  $H^+$  диссоциированных молекул воды вступают в реакцию с ионами  $CO_3$ :



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) протекает на поверхности зерен карбоната кальция. Концентрации ионов  $Ca^{2+}$  и  $CO_3^{2-}$  на поверхности соответствуют предельным значениям. Диффузия ионов  $H^+$  (уравнения 3; 6; 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) и обеспечивает растворение материала. В третьей фазе диоксид углерода полностью растворяется.

Скорость растворения на первых двух стадиях высока, особенно в первые минуты, когда 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.

На основе обобщения современного производственного опыта предложена универсальная технологическая схема подготовки подземной воды для бутилирования (рис.1). Наличие в системе предподготовки блока умягчения обеспечивает оптимальную эксплуатацию мембранной установки с конверсией 75-80% и сохранением "естественного" качества воды. Применение ингибиторов в данном случае теряет всякий

смысл, т.к. с точки зрения технологических возможностей и эксплуатационной надежности не может сравниться с умягчением.

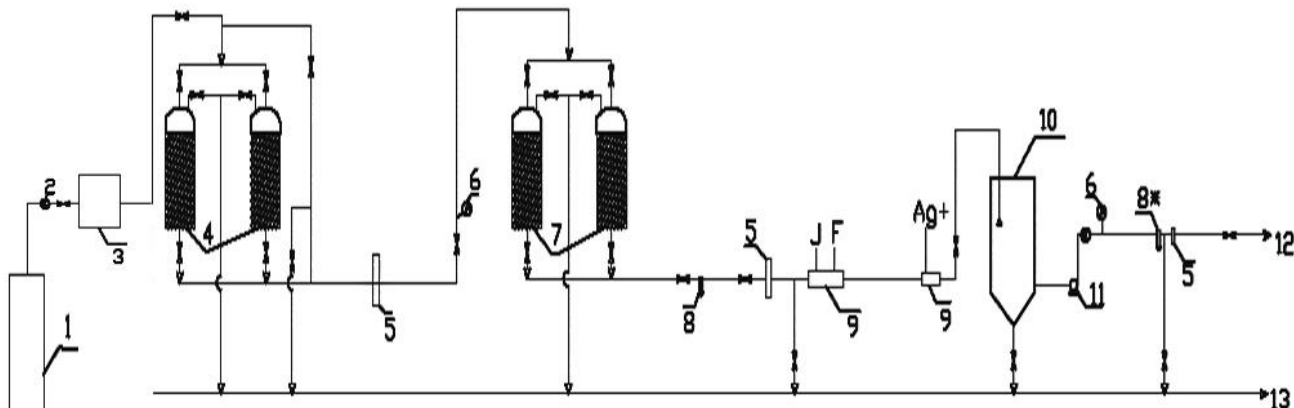


Рисунок 1 - Схема подготовки, очищенной подземной воды для её бутылирования: 1 - скважина; 2 - расходомер; 3 - камера аэрации; 4 - осветлительно-сорбционные фильтры (ФОС); 5 – бактерицидная лампа; 6 - манометр; 7 - фильтры с активированным углем (АУ); 8 - фильтр тонкой очистки (BigBlue 40/5мкм); 8\* - фильтр тонкой очистки (01,1-1 мкм); 9 - смеситель; 10 - резервуар питьевой воды; 11 - насос; 12 - на линию розлива; 13 – канализация; Условные обозначения: J - иодирование; F - фторирование; Ag<sup>+</sup> - консервация; I – консервация

**В третьей главе** приведены лабораторные исследования и пилотные испытания по определению технологических параметров и оценки эффективности основных методов подготовки природных вод. В Ираке приготовление питьевой воды из пермеата морской воды является альтернативой существующей технологии водоподготовки.

Предусматривается предварительная подготовка морской воды. В связи с наличием в морской воде биологически активного компонента - бора и отсутствием селективных мембран для его удаления, опреснение ведут в две ступени с подщелачиванием пермеата I-ой ступени до pH =10. Подготовку питьевой воды осуществляют из пермеата II-ой ступени путём его фильтрационного обогащения гидрокарбонатом кальция с последующим кондиционированием в соответствии с СанПиНом 2.1.4.1074-01. Были проведены экспериментальные исследования по оценке эффективности обогащения имитата пермеата II-ой ступени с применением минеральной кислоты и кальций-карбонатной загрузки.

Результаты экспериментальных исследований и расчетные характеристики состава питьевой воды приведены в (табл. 1, 2) и на (рис. 2).

Таблица 1 - Результаты фильтрационного обогащения опреснённой воды гидрокарбонатом кальция при дозировании серной кислоты

| Показатели  | Опыт 1    |  |                | Опыт 2    |  |                | Опыт 3    |  |                |
|---|-----------|--|----------------|-----------|--|----------------|-----------|--|----------------|
|   | дистиллят |  | филь-<br>трат* | дистиллят |  | филь-<br>трат* | дистиллят |  | филь-<br>трат* |
|   | исх.      | 37мг/дм <sup>3</sup><br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |                | исх.      | 58мг/дм <sup>3</sup><br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |                | исх.      | 39мг/дм <sup>3</sup><br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |                |
| t, °C   | 22        | 22   | 22             | 21,5      | 21,5   | 21,5           | 20        | 20   | 20             |
| 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,<br>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> ,<br>мг/дм <sup>3</sup>                   | -         | -  | 1,35<br>27,1   | -         | -  | 2,25<br>45,1   | -         | -  | 1,80<br>36,1   |
| Na <sup>+</sup> К <sup>+</sup> , мг-<br>экв/дм <sup>3</sup> ,<br>мг/дм <sup>3</sup> | -         | -  | 0,16<br>7,8    | -         | -  | 0,13<br>3,0    | -         | -  | 0,1<br>2,3     |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг-экв/дм <sup>3</sup> ,<br>мг/дм <sup>3</sup>      | -         | 0,76<br>37,2   | 0,76<br>37,2   | -         | 1,18<br>57,8   | 1,18<br>57,8   | -         | 0,80<br>39,2   | 0,80<br>39,2   |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>                                  | -         | -  | 48,8           | -         | -  | 76,3           | -         | -  | 70,2           |
| ∑ ионов, мг/дм <sup>3</sup>   | -         | -  | 121,5          | -         | -  | 182,8          | -         | -  | 148,4          |

\* - фильтрат после ракушечника ( $\tau_{\text{конт}} = 7$  мин)

Целью экспериментальных исследований являлось:

- получение зависимости выходной концентрации кальций-иона от дозы серной кислоты, внесенной в опресненную воду, фильтруемую через загрузку ракушечника;
- определение параметров кондиционирования опресненной воды, обогащенной гидрокарбонатом кальция, до питьевого качества в соответствии с СанПиНом 2.1.4.1074-01.

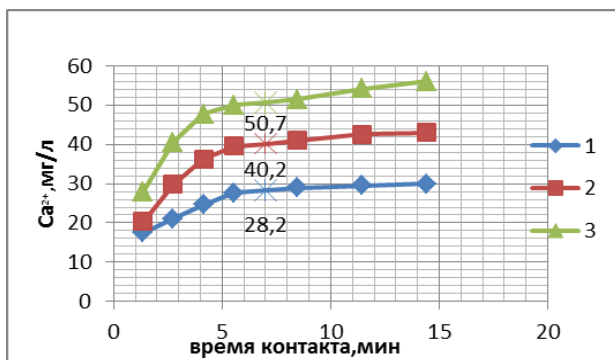


Рисунок 2 - График зависимости  $C_{Ca} = f(\tau_{\text{конт}})$  при обогащении опресненной воды ионами кальция с предварительным подкислением серной кислотой:

- 1- кислотность 0,69 мг-экв/л;
- 2- кислотность 0,95 мг-экв/л;
- 3- кислотность 1,22 мг-экв/л;
- \*- Контрольные точки  $C_{Ca} = f(D_{H_2SO_4})$

Эксперименты по обогащению имитата пермеата  $Ca(HCO_3)_2$  проводились на модели фильтра с внутренним диаметром 30 мм, высотой слоя загрузки гранулированного ракушечника 875 мм и крупностью 0,5-3,0 мм (выделено из

дисперсного природного материала с помощью стандартных сит). Скорость фильтрования 7,2 м/час, время контакта в загрузке – 7 мин.

Таблица 2 - Результаты обогащения  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  имитата пермеата II-ой ступени при подкислении серной кислотой

| Показатель   | Исход.дис<br>тиллят <sup>1</sup> | Имитат<br>пермеата<br>II-ой<br>ступени | Подкисление имитата дозами<br>$\text{H}_2\text{SO}_4$ , мг-экв/дм <sup>3</sup> |   |  |  | Фильтрат <sup>2</sup> при<br>подкислении<br>имитата дозой<br>$\text{H}_2\text{SO}_4$ |                             |
|--|----------------------------------|--|--|---|--|--|--|-----------------------------|
|  |                                  |  | 0,265<br>(13 мг/<br>дм <sup>3</sup> )  | 0,265+<br>0,402<br>(32,7 мг/<br>дм <sup>3</sup> ) | 0,667 +<br>0,402<br>(52,4 мг/<br>дм <sup>3</sup> ) | 1,067 +<br>0,4<br>(71,9 мг/<br>дм <sup>3</sup> ) | 32,7<br>мг/дм <sup>3</sup>   | 71,9 мг/<br>дм <sup>3</sup> |
| 1  | 2                                | 3                                      | 4  | 5   | 6  | 7  | 8  | 9                           |
| Температура t, °С                                      | -                                | 15                                     | 17   | 17  | 17   | 17   | 17   | 17                          |
| Водородный<br>показатель рН                            | 5,3                              | 9,6                                    | 9,3  | 7,3   | 4,6  | 3,5  | 8,4  | 7,8                         |
| Щелочность общая<br>Що, мг-экв/дм <sup>3</sup>         | 0,05                             | 0,45                                   | 0,40   | -   | -  | -  | 0,72   | 0,92                        |
| Жесткость общая<br>Жо, мг-экв/дм <sup>3</sup>          | 0,02                             | 0,02                                   | 0,02   | 0,02  | 0,02   | 0,02   | 0,72   | 1,24                        |
| Диоксид углерода<br>$\text{CO}_2$ , мг/дм <sup>3</sup> | 8,8                              | -                                      | -  | -   | -  | -  | -  | -                           |
| Хлориды $\text{Cl}^-$ ,<br>мг/дм <sup>3</sup>          | 25,5                             | -                                      | -  | -   | -  | -  | 25,5   | -                           |
| Кислотность, мг-<br>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  $d_3 = 0,5\text{-}3 \text{ мм}$ ,  $v_\phi = 7,1 \text{ м/ч}$ .

Определение параметров коррекционной обработки обогащенной гидрокарбонатом кальция опресненной воды по схеме: фторирование + обеззараживание + стабилизация, а также физико-химического состава питьевой опресненной воды производили расчетным путем

Дозирование серной кислоты в дистиллят в количестве 37-58 мг/дм<sup>3</sup> дает прирост по кальций-иону от 27 до 45 мг/дм<sup>3</sup>. Общее солесодержание при этом составляет 122-183 мг/дм<sup>3</sup>, что превышает минимально необходимую минерализацию 100 мг/дм<sup>3</sup> согласно санитарно-гигиеническому критерию, принятому ВОЗ.

Для опресненной питьевой воды установлены оптимальные пределы минерализации для полуаридных зон: для сульфатно-хлоридного класса - 200-400 мг/дм<sup>3</sup>; для гидрокарбонатного класса - 250-500 мг/дм<sup>3</sup>.

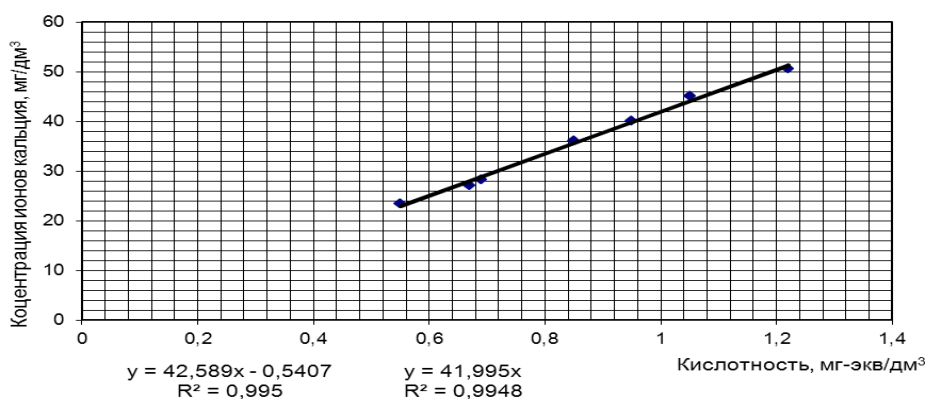


Рисунок 3 - График зависимости концентрации ионов кальция от дозы серной кислоты (по кислотности) в процессе фильтрационного обогащения (время контакта – 7 мин, температура 20-22 °С)

На рис. 3 график дает возможность определения дозы кислоты для прогнозируемых величин концентрации кальция и минерализации опресненной воды.

В табл. 3 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.

Таблица 3 - Кондиционирование пермеата морской воды до питьевого качества

| показатели                             | Единицы измерений      | Пермеат II ступени | Фильтрат <sup>(3)</sup> | После стабилизации              |                              | СанПиН 2.1.4.1074-01 | Стандарты ЕЭС     |     |       |
|--|------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------|-----|-------|
|  |                        |                    |                         | Известью 1,8 мг/дм <sup>3</sup> | содой 6,5 мг/дм <sup>3</sup> |                      | min               | max | optim |
| 1                                      | 2                      | 3                  | 4                       | 5                               | 6                            | 7                    | 8                 | 9   | 10    |
| Температура                            | °С                     | 10                 | 12                      | 12                              | 12                           | -                    | -                 | 25  | 12    |
| рН                                     | ед. рН                 | 9,6                | 7,65                    | 8,6                             | 8,6                          | 6,0-9,0              | 6,5-8,5           |     |       |
| Щелочность общ.                        | 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 ед.(поДжексону) |     |       |
| Цветность                              | град.                  | < 0,5              | < 0,5                   |                                 |                              | ≤ 20                 | -                 | 20  | 5     |
| Жесткость общая                        | мг-экв/дм <sup>3</sup> | 0,13               | 1,98                    | 2,04                            | 1,98                         | ≤ 7,0                | -                 | -   | 35DF  |
| Жесткость карбонатн.                   | 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                    | 0,8                             | -                            | -                    | -                 | -   | -     |
| Кальций Ca <sup>2+</sup>               | мг/дм <sup>3</sup>     | 1,4                | 31,1                    | 32,3                            | 31,1                         | 30-140               | 10                | -   | 100   |
| Магний Mg <sup>2+</sup>                | мг/дм <sup>3</sup>     | 0,7                | 5,2                     | 5,2                             | 5,2                          | 5-84                 | 5                 | 50  | 30    |
| Натрий Na <sup>+</sup>                 | мг/дм <sup>3</sup>     | 19,1               | 20,5                    | 20,5                            | 23,3                         | ≤ 200                | -                 | 100 | 20    |
| Калий K <sup>+</sup>                   | мг/дм <sup>3</sup>     | 1,4                |                         |                                 |                              |                      |                   |     |       |
| Хлориды Cl <sup>-</sup>                | мг/дм <sup>3</sup>     | 25,5               | 25,5                    | 25,5                            | 25,5                         | ≤ 350                | -                 | 200 | 5     |
| Сульфаты SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | мг/дм <sup>3</sup>     | 7,8                | 53,9                    | 52,4                            |                              | ≤ 500                | -                 | 250 | 5     |

|   |                        |       |      |      |      |                     |                  |       |                     |
|---|------------------------|-------|------|------|------|---------------------|------------------|-------|---------------------|
| Гидрокарбонаты $\text{HCO}_3^-$                   | мг/дм <sup>3</sup>     | 4,5   | 64,1 | 67,7 | 71,4 | 30-450              | -                | -     | -                   |
| Карбонаты $\text{CO}_3^{2-}$                      | мг/дм <sup>3</sup>     | 0,6   |      | -    | -    | -                   | -                | -     | -                   |
| Фториды $\text{F}^-$                              | мг/дм <sup>3</sup>     |       |      | 1,2  | 1,2  | 1,2-1,5             | 1,5 при (8-12)°C |       |                     |
| Бор В (общий)                                     | мг/дм <sup>3</sup>     | 0,37  | 0,37 |      |      | ≤ 0,5               | -                | ≤ 0,5 | -                   |
| Диоксид углерода $\text{CO}_2$                    |                        |       |      |      |      |                     |                  |       |                     |
| -свободный  | мг/дм <sup>3</sup>     | -     | 2,7  | отс  | отс  | -                   | -                | -     | -                   |
| -равновесный                                      | мг/дм <sup>3</sup>     | -     | 0,34 | отс  | отс  | -                   | -                | -     | -                   |
| -агрессивный                                      | мг/дм <sup>3</sup>     | -     | 2,36 | отс  | отс  | -                   | -                | -     | -                   |
| Равновесное рНs                                   | ед. рН                 | 10,9  | 8,55 | 8,5  | 8,5  | -                   | -                | -     | -                   |
| Индекс Ланжелье $J_L$                             | ед. рН                 | -1,34 | -0,9 | +0,1 | +0,1 | ≥ 0                 | -                | -     | -                   |
| Индекс Ризнера $J_R$                              | ед. рН                 | 12,28 | 9,45 | 8,4  | 8,4  | 6-7 <sup>(1)</sup>  | -                | -     | 6-7 <sup>(1)</sup>  |
| Щелочность равновесная                            | мг-экв/дм <sup>3</sup> |       | 1,1  |      |      | -                   | -                | -     | -                   |
| Показатель стабильности $P_c$                     | мг/дм <sup>3</sup>     |       | 0,95 | 1,0  | 1,0  | не менее 1          | -                | -     | -                   |
| Потенциал $\mu_{\text{CaCO}_3}$                   | отн.ед.                |       | -5,4 |      |      | 4-10 <sup>(2)</sup> | -                | -     | 4-10 <sup>(2)</sup> |
| Показатели коррозионной активности <sup>(4)</sup> | отн.ед.                | 0,10  | 2,15 | 2,24 | 2,15 | ≥ 0,45              | -                | -     | -                   |
|   |                        | 0,11  | 0,58 | 0,61 | 0,64 | ≥ 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. 4-

$$n_1 = \left| \frac{\text{Ca}^{2+}}{\text{Cl}^-} \right|, \quad n_2 = \left| \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}} \right|,$$

«отс» - контролируемое вещество отсутствует в пробе.

Теоретически интенсификация процесса кальцинации возможна как через ускорение кинетики химической реакции путем сообщения гетерогенной фазе импульсов энергии физического поля (теплого, электрического, ультразвукового, магнитного и др.), так и транспортных стадий при увеличении поверхности фазового контакта, градиента концентраций, коэффициента массопереноса и т.п. Таким образом, фильтрат после обогащения нестабилен и нуждается в обработке щелочными реагентами для приведения  $I_L$  и  $\mu_{\text{CaCO}_3}$  в область их положительных значений.

В ходе проведенных экспериментов по влиянию интенсивности турбулизации на выход кальций-иона при контакте диоксида углерода и кальцийкарбонатсодержащей высокодисперсной пульпы установлено, что увеличение интенсивности перемешивания реагентов практически мало сказывается на повышении скорости реакции. То есть реакция лимитируется химической кинетикой и константа скорости  $K$  (9) не зависит от состояния потока (ламинарный или турбулентный).

$$dc/d\tau = KC^2, \quad (9)$$

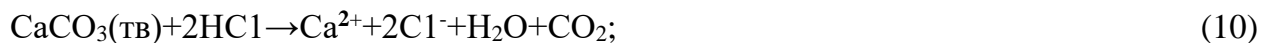
К – константа II-ого порядка скорости реакции (1);

С - концентрация углекислоты;

$\tau$  – продолжительность динамического контакта карбонизированной воды с кальцийкарбонатсодержащей зерновой загрузкой.

Интенсифицировать процесс обогащения возможно:

– применением вместо диоксида углерода раствора минеральной кислоты (HCl или H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), при котором концентрация иона Ca<sup>2+</sup> в фильтруемом подкисленном дистилляте возрастает по сравнению с вариантом взаимодействия с CaCO<sub>3</sub> карбонизованного дистиллята (при адекватных дозах кислоты и диоксида углерода):



– увеличением степени карбонизации дистиллята и скорости фильтрования с последующей отдувкой CO<sub>2</sub> (регенерацией) и нейтрализацией остаточной концентрации агрессивного диоксида углерода раствором извести при условии достижения потенциала осаждения карбоната кальция на уровне 4-7 мг CaCO<sub>3</sub>/ дм<sup>3</sup>.

Однако коэффициент «К» заметно повышается с ростом температуры и увеличением поверхности контакта фаз. Увеличение поверхности контакта в реакции (10) чаще всего достигается повышением дисперсности загрузки.

Для очистки воды от соединений бора предложен способ, основанный на ионном обмене с применением высокоселективных анионообменных смол. Существующие смолы S-108 фирмы «Purolite», IRA-743 – Rohmand Haas и др. имеют высокую механическую прочность, химическую стойкость, динамическую обменную емкость по бору, не токсичны, эффективно регенерируются. Их использование позволяет удалять биологически активные компоненты без изменения макрокомпонентного состава воды. Для оценки степени сорбции анионов борселективной смолой можно записать их в следующий ряд активности: Cl<sup>-</sup> < SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> < HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> < B(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>.

Высокая селективность смолы S-108 позволяет обеспечить обменную емкость по бору 3,8 г/ дм<sup>3</sup> (0,35 г-экв/ дм<sup>3</sup>) при сохранении исходного состава воды по основным анионам (Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Как показали наши испытания, загрузка смолы S-108 в

постоянном режиме -ионный обмен (по В) – регенерация, работает в течение 6 лет (при догрузке 3% в год по объему), что доказало высокую эффективность десорбции бора и в достаточной степени воспроизводимую емкость селективной смолы.

Подземная вода из скважины поступает на напорные фильтры обезжелезивания с предварительным эжектированием воздуха в подающий трубопровод для насыщения кислородом. Затем воду направляют на анионитовые фильтры очистки от бора, и после дозирования известкового раствора, в реактор для обогащения её гидрокарбонатом кальция. Далее вода подвергается стабилизационной обработке и направляется в резервуар чистой воды, откуда насосами подается потребителю.

Весьма актуальной является проблема очистки воды от стабильного стронция. При решении задачи умягчения воды, несмотря на обширную литературу, стронций практически не упоминается. В Ираке подземная вода содержит стабильный стронций в количестве до  $30 \text{ мг/дм}^3$ , превышающем санитарно-гигиеническую норму ( $7,0 \text{ мг Sr}^{2+}/\text{дм}^3$ ) по СанПиН 2.1.4.1074-01 для питьевой воды.

Исследование эффективности сорбции стабильного стронция проводилось на клиноптилолите в условиях повышенной жесткости подземной воды.

Для исследований выбран клиноптилолит Холинского месторождения, предложенный для очистки от стронция. Цеолитовый сорбент марки СПЦ-1 выпускается ПО «Заря» по ТУ 6-00-04873044-102-93 с отбором фракций 0,5-1 мм. Указанная фракция была принята в условии соотношения диаметров модели фильтра и зерна сорбента, которое должно быть не менее 15 для исключения пристенного эффекта в процессе фильтрования. Лабораторный фильтр имел следующие параметры: диаметр  $d_{\text{ф}} = 16 \text{ мм}$ ; высота загрузки клиноптилолита  $h_{\text{кл}} - 0.55 \text{ м}$ ; объем загрузки  $V_{\text{кл}} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ .

Подготовленную к работе загрузку отмывали водопроводной водой от пыли путем взрыхления (подачи воды снизу вверх) с интенсивностью  $3-4 \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$  при обеспечении 50%-ного расширения загрузки в течение 10 мин. После этого проводили «зарядку» клиноптилолита в рабочую Na-ионную форму, для чего пропускали регенерационный раствор 0,5N поваренной соли ( $30 \text{ г/дм}^3$ ) со скоростью 0,5 м/ч (с удельным расходом  $q = 1,7 \text{ мл/мин}$ ).



Для эксперимента в динамических условиях на клиноптилолите использовали реальную подземную воду. Имитацию содержания гидрокарбоната кальция для обеспечения требуемой жесткости осуществляли насыщением подземной воды диоксидом углерода с последующей добавкой расчетного количества раствора оксида кальция. Необходимую концентрацию стронция обеспечивали растворением в имитате нитрата стронция.

Осредненный состав имитата, используемого в эксперименте, по основным макрокомпонентам представлен в табл. 4. Приготовленный имитат фильтровали через модель с загрузкой клиноптилолита со скоростью 3-4 м/ч (объемный расход до 12 мл/мин). Через определенные промежутки времени производили отбор проб фильтрата (по 500 мл), в которых определяли содержание  $\text{Sr}^{2+}$ , Ж<sub>о</sub>.

Таблица 4 - Физико-химический состав имитата после внесения гидрокарбоната кальция и нитрата стронция

| Показатели  | Имитат               | СанПиН<br>2.1.4.1074-01 |
|---|----------------------|-------------------------|
| Температура, °С   | 15                   | -                       |
| Водородный показатель при температуре пробы, ед. рН                             | 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 ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ), мг-экв/дм <sup>3</sup>         | 10 ± 0,3             | ≥ 7,0                   |
| Кальций $\text{Ca}^{2+}$ , мг-экв/дм <sup>3</sup> / мг/дм <sup>3</sup>          | 7,1 ± 0,2/ 142,3 ± 4 | -/ 30-140               |
| Магний $\text{Mg}^{2+}$ , мг-экв/дм <sup>3</sup> / мг/дм <sup>3</sup>           | 2,9/ 35,3            | -/ 5                    |
| Натрий $\text{Na}^{+}$ , мг-экв/дм <sup>3</sup> / мг/дм <sup>3</sup>            | 0,3/ 6,9             | -/ 200                  |
| Калий $\text{K}^{+}$ , мг-экв/дм <sup>3</sup> / мг/дм <sup>3</sup>              | 0,03/ 1,2            | -/ -                    |
| Хлориды $\text{Cl}^{-}$ , мг-экв/дм <sup>3</sup> / мг/дм <sup>3</sup>           | 1,85/ 65,6           | -/ 350                  |
| Сульфаты $\text{SO}_4^{2-}$ , мг-экв/дм <sup>3</sup> / мг/дм <sup>3</sup>       | 1,79/ 86             | -/ 500                  |
| Гидрокарбонаты $\text{HCO}_3^{-}$ , мг-экв/дм <sup>3</sup> / мг/дм <sup>3</sup> | 6,9/ 421             | -/ 30-450               |
| Нитраты $\text{NO}_3^{-}$ , мг-экв/дм <sup>3</sup> / мг/дм <sup>3</sup>         | 0,73/ 45,3           | -/ 45                   |
| Стронций $\text{Sr}^{2+}$ , 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                    |

На основании экспериментальных исследований построены выходные кривые зависимости остаточной концентрации жесткости (в мг-экв/дм<sup>3</sup>, стронция (мг/дм<sup>3</sup>) в фильтрате от количества относительных объемов пропущенной воды к объему загрузки.

На рис. 4 и 5 представлены выходные кривые  $C(\text{Ж}, \text{Sr}^{2+}) = f(V_{\text{отн}})$ .

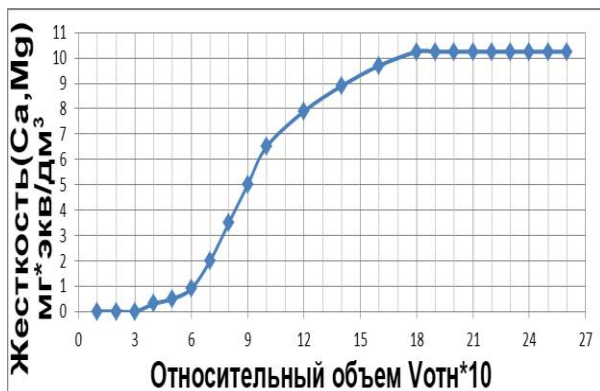


Рисунок 4 - Выходная кривая зависимости жёсткости от относительного объёма профильтрованной подземной воды (исходная жёсткость-10,25 мг-экв/дм<sup>3</sup>)

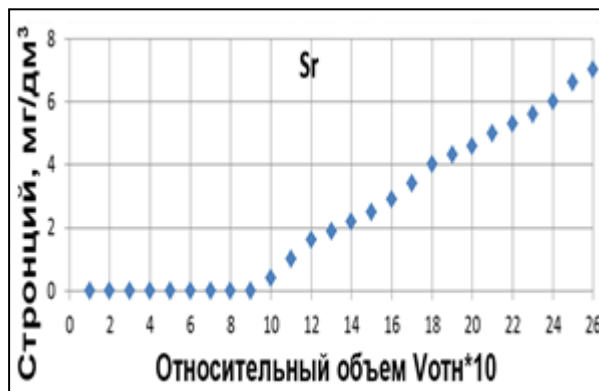


Рисунок 5 - Выходная кривая зависимости концентрации стронция от относительного объёма профильтрованной подземной воды (исходная концентрация Sr -32 мг /дм<sup>3</sup>)

Как следует из рис. 4, снижение жесткости до регламента СанПиН 2.1.4.1074-01 достигается при пропуске 105 относительных объемов на объем загрузки, а исходных значений - при 180 относительных объемах. При этих значениях концентрация кальция также достигает требуемых величин. Однако для такого количества (180 отн.об/об.загр.) пропущенной воды концентрация стронция в фильтрате остается ниже допустимого уровня, клиноптилолит обладает селективностью по стронцию.

Показано (рис. 4), что 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, т.к. количество пропущенной воды увеличивается более чем в 1,4 раза.

По результатам эксперимента (рис.5) определена ДОЕ клиноптилолита по стронцию при обеспечении уровня концентрации его в фильтрате 7 мг/дм<sup>3</sup> при исходном содержании 32 мг/дм<sup>3</sup>.

$ДОЕ_{Sr} = 9 * 32 \text{ мг/дм}^3 + 17 \text{ дм}^3 * (32 \text{ мг/дм}^3 - 7 \text{ мг/дм}^3) + 17 * 7 / 2 = 288 + 425 + 59,5 = 772,5 \text{ мг}$ , или выраженная в мг-экв/ дм<sup>3</sup> загрузки ( $\Sigma sr = 43,8 \text{ мг}$ )

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

Механизм ионного обмена катионов жесткости на клиноптилолите для указанного фильтроцикла 260 объёмов/объём приводит к увеличению содержания иона натрия в среднем на 3 мг-экв/дм<sup>3</sup> (69 мг/дм<sup>3</sup>).

В процессе эксперимента рН фильтрата несколько увеличивался ( $\Delta_{\max} = 0,6 \text{ ед. рН}$ ) вследствие аэрации и декарбонизации имитата. В условиях эксперимента применен

имитат, содержащий двухвалентное железо в количестве до  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ , которое не было предварительно удалено.

Окисление и гидролиз железа (II) в гидроксид железа (III) оказывали неблагоприятное влияние и снижали эффективность работы загрузки клиноптилолита в фильтре.

ДОЕ клиноптилолита по общей жесткости при условии ее восстановления в фильтрате до исходной (рис. 4)

$\text{ДОЕ}_{\text{ж}} = 3 \text{ дм}^3 * 10,25 \text{ мг-экв/дм}^3 + 15 * 10,25/2 = 30,75 + 76,88 = 107,63 \text{ мг-экв/0,1 дм}^3$  загрузки или отнесенная к  $\text{дм}^3$  загрузки.  $\text{ДОЕ}_{\text{ж}} = 1076,3 \text{ мг-экв/дм}^3$  загрузки.

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

В усредненной пробе фильтрата в объеме  $26 \text{ дм}^3$ , полученных за фильтроцикл (до  $C_{\text{Sr}} = 7 \text{ мг/дм}^3$ , концентрация стронция составляет (рис. 5)

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

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

Таким образом, чтобы обеспечить концентрацию в усредненной пробе в соответствии с опытами Никашиной В.А., где в усредненной пробе в конце фильтроцикла концентрация стронция составляла  $3,5 \text{ мг/дм}^3$ , а жесткость  $7 \text{ мг-экв/дм}^3$ , можно в данном эксперименте увеличить объем усредненной пробы до  $32-33 \text{ дм}^3$ , что составит примерно 330 отн. объемов при условии поддержания концентрации  $\text{Sr}^{2+}$  в фильтрате  $7 \text{ мг/дм}^3$ .  $C_{\text{Sr}} = [59,5 + 7*7] / 33 = 3,3 \text{ мг/дм}^3$ . В данном случае жесткость в усредненной пробе составит

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

Сравнение результатов двух экспериментов, проведенных на подземной воде, представлены в табл. 5.

Как следует из табл. 5, при большей (в 1,44 раза) скорости фильтрования стронций содержащего имитата через клиноптилолит ДОЕ в условиях более мелкодисперсной фракции ( $d_3 = 0,5-1 \text{ мм}$ ), а, следовательно, более скорой кинетики, в 1,67 раза выше, чем в эксперименте Никашиной В.А. ( $d_3 = 0,5-3 \text{ мм}$ ). Расчет продолжительности фильтроцикла для идентичных условий по высоте загрузки для нашего эксперимента

составит 3,9 сут, что соответствует расчетным параметрам технологии очистки воды от стабильного стронция на клиноптилолите.

Таблица 5 - Сравнительные данные экспериментов по очистке подземной воды от стронция стабильного на клиноптилолите Холинского месторождения

| Параметры  | Эксперимент 1 | Эксперимент 2        |
|--|---------------|----------------------|
| 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 Sr <sup>2+</sup> , м <sup>3</sup>   | 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>  | 106           | 176,4                |
| Фильтроцикл для идентичных условий по высоте загрузки (1,4 м), сут.  | 4,0           | 3,9                  |

**В четвертой главе** приводится расчет станции приготовления питьевой воды по узлам и вспомогательным устройствам, следуя соответствующим элементам технологической схемы приготовления питьевой опресненной воды. Расчетная производительность термического опреснителя нового поколения горизонтально - трубного плёночного аппарата  $Q_d = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$  или  $12000 \text{ м}^3$  в сутки. Полезная производительность УППВ (рис. 8) с учетом расхода дистиллята на собственные нужды установки (2%):  $Q_{п.в.} = 0,98 * 500 = 490 \text{ м}^3/\text{ч}$  или  $11760 \text{ м}^3/\text{сут.}$

В малых поселениях, где нет централизованного водоснабжения (особенно актуально для Ирака), строительство стационарных очистных сооружений нецелесообразно как с технологической, так и с экономической точек зрения. В этой связи встает задача разработки мобильной станции приготовления питьевой воды малой производительности.

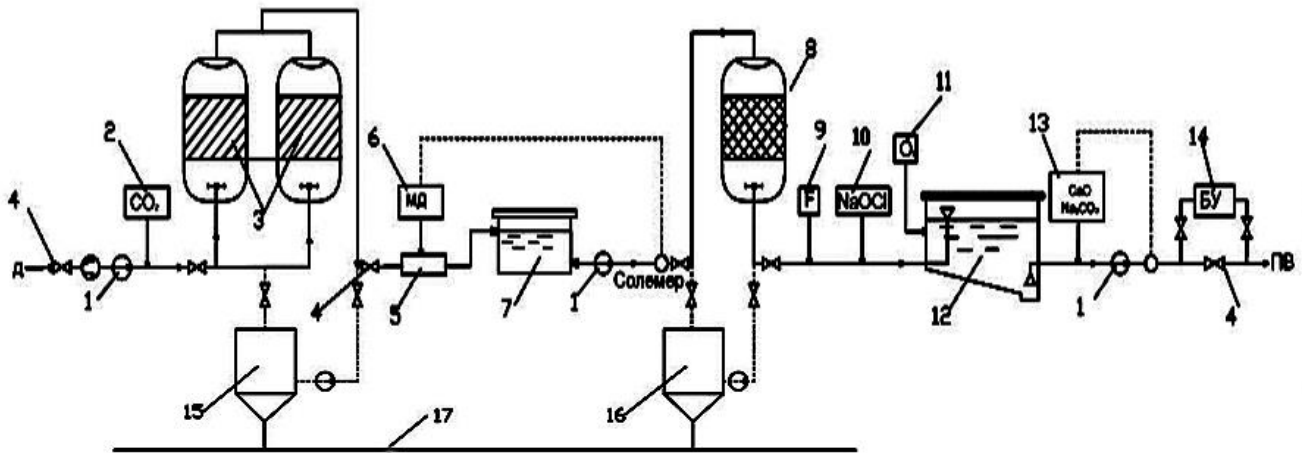


Рисунок 8 - Принципиальная технологическая схема кондиционирования дистиллята для питьевого водоснабжения:

1 – электронасос; 2 – узел абсорбции и дозирования в дистиллят диоксида углерода; 3 – фильтры обогащения  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  с загрузкой ракушечника; 4 – задвижка; 5 – смеситель; 6 – узел дозирования солевой добавки; 7 – промежуточная емкость; 8 – фильтр с загрузкой активированного угля; 9 – узел фторирования воды; 10 – узел обеззараживания; 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.

На основании выполненных расчетов, в соответствии с разработанной блок-схемой процесса, спроектирована мобильная станция стабилизации очищенных природных морских или подземных вод в контейнерном исполнении производительностью 480 м<sup>3</sup> в сутки (рис. 9).

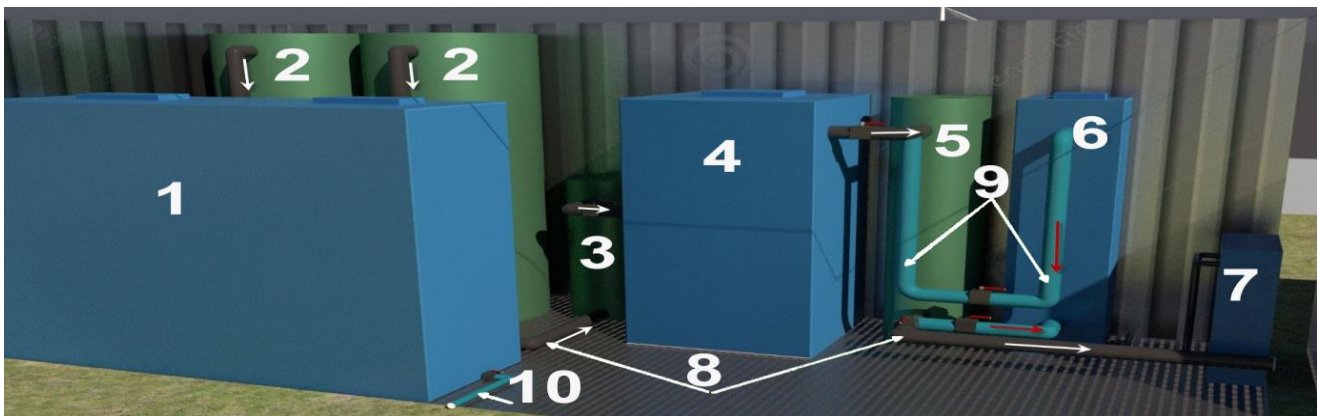


Рисунок 9 - Технологическая схема размещения оборудования для кондиционирования дистиллята в установке модульного типа:

1 – рабочая секция промывного бака; 2 – фильтры обогащения  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  с загрузкой ракушечника; 3 – смеситель; 4 – промежуточная емкость; 5 – фильтр с загрузкой активированным углем; 6 – циркуляционный бак; 7 – узел стабилизации питьевой воды и узел фторирования воды; 8 – трубы исходной воды; 9 – трубы промывной воды; 10 – трубы опорожнения

Всё водоочистное оборудование размещается в стандартном контейнере размером 6,0x2,5 м. При необходимости увеличения производительности мобильной станции можно параллельно устанавливать ещё один или несколько блоков.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. 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 не зависит от диффузионных параметров и лимитируется химической кинетикой и не зависит от состояния потока. 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.

2. Эксперименты по повышению эффективности фильтрационного обогащения имитата пермеата обратного осмоса II-ой ступени с применением минеральной кислоты показали, 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>

3. Положительный эффект достигнут при испытаниях инновационной ионообменной технологии очистки подземной воды от бора на загрузке смолой S-108 в постоянном режиме регенерации. Прогнозная оценка показала, что при догрузке 3% в год по объему смола работает в течение 6 лет.

4. Экспериментально установлено, что клиноптилолит Холинского месторождения, модифицированный в Na-форму, является ионообменником 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. Долевая часть общей обменной емкости клиноптилолита по стронцию составляет 16.4%, что указывает на достаточную селективность клиноптилолита по  $\text{Sr}^{2+}$  при отношении концентрации Sr: Жоб = 0,73: 10,25 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Эффективность удаления стронция до норм ПДК в три раза выше по сравнению с катионами жесткости ( $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ ), а эффект полного извлечения выше в шесть раз.

5. Внедрение результатов данных исследований произведено в процессе разработки рекомендаций по проектированию технологической части установки приготовления питьевой воды из опресненной дистилляцией морской воды производительностью 12000 м<sup>3</sup> в сутки и легли в основу разработки контейнерной модульной установки на 480 м<sup>3</sup> в сутки. Расчет установки производится по узлам и вспомогательным элементам технологической схемы.

**Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.** Рекомендуется использовать новые эффективные технологии кондиционирования вод при обогащения природной морской и подземной воды на малогабаритных модульных установках для небольших населенных пунктов и промышленных предприятий.

**Основное содержание диссертации изложено в следующих работах**

*Публикации в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий:*

1. **Аль-Амри Заед Садик Абрахем.** исследование методов кондиционирования опреснённой воды для питьевых нужд (в условиях Ирака) / В.И. Щербаков, Заед Садик Абрахем Аль-Амри, В.В. Помогаева // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2016. № 4 (44). С. 64-70.
2. **Аль-Амри Заед Садик Абрахем.** Техничко-гигиенические аспекты фторирования питьевой воды / Л.С. Алексеев, Г.А. Ивлева, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // Вестник МГСУ. 2012. №3. - С. 154-158.
3. **Аль-Амри Заед Садик Абрахем.** Очистка подземных вод питьевого назначения от бора / Л.С. Алексеев, Г.А. Ивлева, Заед Садик Абрахем Аль-Амри. // Вестник МГСУ. -2011.-№8. -С. 312-316.
4. **Аль-Амри Заед Садик Абрахем.** Очистка питьевой воды от стронция фильтрационным методом с применением клиноптилолита / В.И. Щербаков, Заед Садик Абрахем Аль-Амри.// Вестник МГСУ. -2017.-№ 4. -С. 457-463.
5. **Аль-Амри, Заед Садик Абрахем.** Технологические основы водоподготовки опресненных вод для питьевого водоснабжения / Аль-Амри Заед Садик Абрахем, В. И. Щербаков, В. В. Помогаева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 1(24). –С.69-76.

*Публикации в других изданиях (научно-технические журналы, материалы конференций):*

6. **Аль-Амри Заед Садик Абрахем.** Очистка подземных вод от лимитирующих микроэлементов / В.И. Щербаков, Заед Садик Абрахем Аль-Амри, Л.С. Алексеев, Г.А. Ивлева // Сборник научных трудов Sworld. перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте. Международная научно-практическая конференция. Одесса, 2012. Т.28. -С. 12-16.
7. **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.
8. **Аль-Амри Заед Садик Абрахем.** Исследование фильтрационной кальцинации мягких питьевых вод / В.И. Щербаков, Л.С. Алексеев, Г.А. Ивлева, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Высокие технологии. Экология. 2013. -С. 72-77.

9. **Аль-Амри Заед Садик Абрахем.** Интенсификация фильтрационной кальцинации мягких питьевых вод / Л.С. Алексеев, Г.А. Ивлева, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // Сб. докладов научно-практической конференция «Яковлевские чтения». Москва, 2012. -С. 53-59.
10. **Аль-Амри Заед Садик Абрахем.** Бор - пути очистки питьевой воды/ Л.С. Алексеев, Г.А. Ивлева, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2013. № 5 (137). С. 16-19.
11. **Аль-Амри Заед Садик Абрахем.** Очистка подземных вод питьевого назначения от бора / Л.С. Алексеев, Г.А. Ивлева, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2012. № 8 (128). С. 30-33.
12. **Аль-Амри Заед Садик Абрахем.** Методы фторирования воды городских водопроводов/ В.И. Щербаков, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // Материалы VIII межд. науч. практ. конф.; Красная Поляна, г. Сочи, 2014 / Южн.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ). Новочеркасск: Лик, 2014. - С. 56-59.
13. **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.
14. **Аль-Амри Заед Садик Абрахем.** К оценке запасов и качества подземных вод в Ираке / В.И. Щербаков, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // Сб. докладов научно-практической конференция «Яковлевские чтения». Москва, 2016. -С. 167-171.
15. **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.
16. **Аль-Амри Заед Садик Абрахем.** Подготовка некондиционных вод для хозяйственно-питьевых нужд в Ираке / В.И. Щербаков, Заед Садик Абрахем Аль-Амри // Сб. докладов научно-практической конференция «Яковлевские чтения». Москва, 2017. - С. 230-240.
17. **Аль-Амри Заед Садик Абрахем.** Разработка технологий подготовки питьевой для централизованного водоснабжения: Учебное пособие для магистрантов и аспирантов. / В.И. Щербаков, Заед Садик Абрахем Аль-Амри. - Воронежский гос. техн. ун-т. «Цифровая полиграфия» - 2019. - 140 с.
18. **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.
19. **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.