

© Коллектив авторов, 2021

УДК 614.7

Гигиенические аспекты использования опресненной морской воды в питьевых и хозяйственно-бытовых целях. Обзор литературы

О.О. Синицына¹, В.В. Турбинский¹, Т.М. Ряшенцева¹, Е.П. Лаврик²

¹ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, ул. Семашко, д. 2, Московская обл., г.п. Мытищи, 141014, Российская Федерация

²Туапсинский филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Краснодарском крае» Роспотребнадзора, ул. Свободы, д. 3а, г. Туапсе, 352800, Российская Федерация

Резюме

Введение. Неравномерность распространения источников пресной воды на суше побуждает искать способы ее приготовления опреснением морских соленых вод. В настоящее время исследованы гигиенические вопросы таких методов опреснения соленых вод, как дистилляция, обратный осмос, электродиализ, ионный обмен. Установлены гигиенические ограничения у разных способов опреснения воды, необходимые условия и дополнительные меры для обеспечения безопасности здоровья человека при использовании опресненной питьевой воды.

Цель – обобщить и систематизировать результаты научных исследований о характеристике различных способов опреснения морской воды для ее использования в питьевых и хозяйственно-бытовых целях.

Материалы и методы. Систематический обзор научных исследований осуществлен на русском и английском языках в базах данных PubMed и Web of Science. Авторы отобрали 40 исследований, содержащих эмпирическую оценку эффективности опреснения морской воды и приготовления воды питьевого качества, нормативно-методические документы отечественного санитарного законодательства. Результаты исследований систематизированы по основным методам опреснения.

Результаты и обсуждение. Исследование показало, что использование морской воды для приготовления воды в питьевых и хозяйственно-бытовых целях в мире находит все большее распространение. Получаемая из морской воды питьевая вода во всех случаях требует дополнительной обработки и мер по оптимизации минерального состава и защите от микроорганизмов.

Заключение. Актуальными вопросами обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения при использовании опресненной морской воды в питьевых и хозяйственно-бытовых целях являются: выбор источника, места водозабора, обеспечения санитарной охраной от природного и техногенного загрязнения, обоснование адекватных составу морской воды и динамике ее состава способов и режимов предварительной подготовки исходной морской воды, основного опреснения и обеспечение безопасности продуктов деструкции и миграции токсичных веществ из реагентов и материалов конструкции опреснительных установок, дополнительное кондиционирование необходимыми элементами и обеззараживание приготовленной воды, а также охрана окружающей среды от загрязнения отходами опреснения вод.

Ключевые слова: морская вода, опреснение, методы опреснения, питьевая вода, продукты деструкции, кондиционирование.

Для цитирования: Синицына О.О., Турбинский В.В., Ряшенцева Т.М., Лаврик Е.П. Гигиенические аспекты использования опресненной морской воды в питьевых и хозяйственно-бытовых целях. Обзор литературы // Здоровье населения и среда обитания. 2021. Т. 29. № 8. С. 26–32. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-8-26-32>

Сведения об авторах:

Синицына Оксана Олеговна – д-р мед. наук, проф., член-корреспондент РАН, заместитель директора по науке ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, директор Института комплексных проблем гигиены; e-mail: oxsin66@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0241-0690>.

✉ **Турбинский** Виктор Владиславович – д-р мед. наук, заведующий отделом гигиены питьевого водоснабжения и охраны водных объектов, главный научный сотрудник ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора; e-mail: turbinskijvv@ferisman.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7668-9324>.

Ряшенцева Татьяна Максимовна – младший научный сотрудник отдела гигиены питьевого водоснабжения и охраны водных объектов ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора; e-mail: ry-tat-m@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0899-3505>.

Лаврик Евгений Петрович – главный врач Туапсинского филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Краснодарском крае» Роспотребнадзора; e-mail: cross.tuapse@gmail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8150-2595>.

Информация о вкладе авторов: Синицына О.О. – формулирование концепции и дизайна исследования; Турбинский В.В. – сбор, анализ и интерпретацию данных, подготовка текста статьи; Ряшенцева Т.М. – сбор, анализ данных, подготовка текста статьи; Лаврик Е.П. – сбор информации и участие в анализе материалов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья получена: 09.08.21 / Принята к публикации: 19.08.21 / Опубликована: 31.08.21

Hygienic Aspects of the Use of Desalinated Sea Water for Drinking and Household Purposes: A Literature Review

Oxana O. Sinitsyna,¹ Viktor V. Turbinsky,¹ Tatyana M. Ryashentseva,¹ Evgeny P. Lavrik²

¹F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene,

2 Semashko Street, Mytishchi, Moscow Region, 141014, Russian Federation

²Tuapse Branch Office of the Center for Hygiene and Epidemiology in the Krasnodar Krai,
3A Svobody Street, Tuapse, Krasnodar Krai, 352800, Russian Federation

Summary

Background. Uneven distribution of fresh water sources on the land surface encourages a search for effective techniques of potable water preparation by desalination of seawater. Hygienic issues of such desalination methods as distillation, reverse osmosis, electrodialysis, and ion exchange have been investigated by now and appropriate limitations, requirements, and additional measures to ensure safety of desalinated drinking water have been established.

Objective. To summarize and systematize the results of studying characteristics of various methods of seawater desalination for its further use for drinking and household purposes.

Materials and methods. We conducted a systematic review of studies published in Russian and in English, found in the PubMed and Web of Science databases, and selected 40 literary sources containing an empirical assessment of effectiveness of seawater

ter desalination and preparation of drinking water. We also scrutinized regulatory documents and guidelines of domestic sanitary legislation. The research results were systematized by the main desalination methods.

Results and discussion. We established that the use of seawater for the preparation of fresh water for drinking and household purposes is becoming increasingly widespread around the world. Drinking water obtained from seawater, in all cases, requires additional treatment and measures to optimize its mineral composition and protect against microorganisms.

Conclusion. The main challenges of ensuring sanitary and epidemiological wellbeing of the population when using desalinated seawater for drinking and household purposes include selection of a source, arrangement of sites of water intake properly protected from natural and man-made pollution, substantiation of techniques and modes of preliminary preparation of source seawater adequate to its composition, basic desalination, ensuring safety of products of destruction and migration of toxic substances from reagents and materials of desalination plants, additional conditioning with the necessary elements and disinfection of the prepared water, as well as environmental protection from desalination waste.

Keywords: seawater, desalination, desalination techniques, drinking water, degradation products, conditioning.

For citation: Sinitsyna OO, Turbinsky VV, Ryashentseva TM, Lavrik EP. Hygienic aspects of the use of desalinated sea water for drinking and household purposes: A literature review. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2021; 29(8):26–32. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-8-26-32>

Author information:

Oxana O. Sinitsyna, Dr. Sci. (Med.), Prof., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Science, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Director of the Institute of Complex Hygiene Problems; e-mail: oxsin66@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0241-0690>.

✉ Viktor V. Turbinsky, Dr. Sci. (Med.), Head of the Department of Hygiene of Drinking Water Supply and Protection of Water Bodies, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene; e-mail: turbinskijv@fferisman.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7668-9324>.

Tatyana M. Ryashentseva, Junior Researcher, Department of Hygiene of Drinking Water Supply and Protection of Water Bodies, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene; e-mail: ry-tat-m@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0899-3505>.

Evgeny P. Lavrik, Chief Physician, Tuapse Branch Office of the Center for Hygiene and Epidemiology in the Krasnodar Krai; e-mail: cross.tuapse@gmail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8150-2595>.

Author contributions: Sinitsyna O.O. developed the concept and design of the study; Turbinsky V.V. collected, analyzed and interpreted data and wrote the manuscript; Ryashentseva T.M. collected and analyzed data and wrote the manuscript; Lavrik E.P. collected information and participated in data analysis; all authors contributed to the discussion and gave final approval of the version to be published.

Funding information: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: August 9, 2021 / Accepted: August 19, 2021 / Published: August 31, 2021

Введение. История опреснения морской воды методом нагрева и сбора пара-конденсата берет начало с Аристотеля (384–322 гг. до н.э.) [1]. Использование опресненной воды в питьевых и хозяйственно-бытовых целях не запрещено ни санитарно-эпидемиологическим, ни водным законодательством^{1,2,3,4}. Более того, такой метод водоподготовки рекомендован Всемирной организацией здравоохранения и широко используется в мире [2–4].

В Российской Федерации активное внедрение методов опреснения морской и солоноватых подземных вод проводилось в 70-е и 80-е годы прошлого века, когда и были разработаны методические документы санитарного законодательства в данном вопросе. Высокоминерализованные подземные воды и морская вода активно используются для приготовления воды питьевого качества и во многих странах, расположенных на морском побережье: Ближний Восток, север Африки, средиземноморский бассейн [5, 6].

Обращение в настоящее время к морской воде как источнику питьевого водоснабжения в России, обладающей в целом достаточными запасами пресной воды, обусловлено неравномерностью их распределения по территории и наличием регионов с выраженным дефицитом пресной воды. В первую очередь это касается засушливых территорий, а также полуострова Крым [7, 8].

В настоящее время применяются 5 методов опреснения морской воды [7]: дистилляция, или термическое опреснение; вымораживание; ионный обмен; электродиализ; обратный осмос.

Опреснение высокоминерализованных вод осуществляется разными способами, сопровождаемыми разными гигиеническими последствиями для водопользователей. Во-первых, это разная степень удаления минеральных и органических веществ и поэтому разные требования к исходной опресняемой воде. Во-вторых, это разное технологическое оснащение применяемого оборудования и возможность миграции загрязняющих веществ из его материалов и применяемых реагентов в опресненную воду. В-третьих, разная степень защищенности опресненной воды от микроорганизмов: как исходной воды, так и в результате вторичного загрязнения [8]. Одинаковая проблема для всех методов опреснения – это необходимость после опреснения добавлять кальций и фтор для обеспечения физиологической полноценности воды и придания необходимых органолептических (вкусовых) свойств^{5,6} [9], а также обезвреживание образующихся рассолов [10].

Цель. Обобщить и систематизировать результаты научных исследований о характеристике различных способов опреснения морской воды для использования в питьевых и хозяйственно-бытовых целях.

¹ Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 № 52-ФЗ (последняя редакция). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481 (дата обращения: 31/05/2021).

² СанПиН 2.1.3684–21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177> (дата обращения: 31/05/2021).

³ Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/ (дата обращения: 31.05.2021).

⁴ Федеральный закон «О водоснабжении и водоотведении» от 07.12.2011 № 416-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_122867/ (дата обращения: 31.05.2021).

⁵ 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. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества». М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. 63 с.

⁶ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ «О коррекции качества питьевой воды по содержанию биогенных элементов» № 5 от 11.07.2000.

Материалы и методы. Систематический обзор научных исследований осуществлен на русском и английском языках в базах данных PubMed и Web of Science. Авторы отобрали 40 исследований, содержащих эмпирическую оценку эффективности опреснения морской воды и приготовления воды питьевого качества, нормативно-методические документы отечественного санитарного законодательства. Результаты исследований систематизированы по основным методам опреснения.

Результаты. В условиях неравномерности распределения по территории страны источников пресной воды, особенностей климато-географических и гидрологических условий, роста хозяйственного освоения поверхностных вод суши, сопровождаемого их загрязнением и невозможностью использования для питьевого водоснабжения [11], использование морской воды для приготовления питьевой воды и в хозяйственно-бытовых целях в мире находит все большее распространение. Территория Российской Федерации омывается водами морей Северного ледовитого океана, Тихого океана, Черного, Азовского и Каспийского морей.

Опреснение вод осуществляется в соответствии с требованиями используемой технологии опреснения к источнику водоснабжения, включающими величину дебита (для подземных), уровень минерализации и состав исходной воды по химическим, радиологическим, микробиологическим и паразитологическим показателям.

В основу опреснения вод заложены три основных принципа:

1) испарение и конденсация паров воды при действии температуры;

2) сепарация молекул воды через полупроницаемую мембрану под влиянием давления, электрического поля;

3) ионный обмен на катионитах и анионитах.

Все способы имеют те или иные ограничения на использование. Это – ограничение состава морской воды по взвешенным веществам, загрязняющим веществам, микроорганизмам и радионуклидам. Механические частицы могут закупоривать отверстия и препятствовать фильтрации и проницаемости мембран. Для преодоления этих ограничений используют предпочтительные мероприятия (фильтрация, осаждение). Существенное влияние на эффективность опреснения оказывает исходный состав морской воды: ее соленость, соотношение ионов, влияющих на возможности способа отделить воду от солей [12–14].

Обратный осмос. Опреснение воды методом обратного осмоса при одноступенчатой технологии обратного осмоса позволяет опреснять воду с содержанием минеральных солей 6–7 г/л⁷. Метод обладает ограниченной способностью извлекать из морской воды бор и бром (соответственно 30–40 % и 80–90 %). Увеличение числа ступеней позволяет опреснять воду с содержанием до 20 и 35–40 г/л. Полупроницаемые мембраны установок обратного осмоса способны задерживать не только крупные органические молекулы – нефтепродукты (на 90–95 %), ПАВ (на 80–98 %), ПАУ (на 90–96 %), но и гидратированные молекулы свинца, железа и других неорганических веществ [15–17].

Высока барьерная роль обратного осмоса в отношении микроорганизмов (от 80 до 95 %),

что позволяет его использовать при количестве бактерий группы кишечной палочки от $1,5 \times 10^2$ до 4×10^5 КОЕ. Однако следует иметь в виду, что присутствие в морской воде ПАВ до 2 раз снижает барьерную роль мембран в отношении микроорганизмов.

Как и любой метод опреснения, обратный осмос требует предварительной обработки морской воды перед обратноосмотической установкой по устранению механических примесей и создания условий, предотвращающих отложения малорастворимых соединений на поверхности мембран.

Опресненная обратным осмосом вода требует мероприятий по восстановлению макро- и микроэлементного состава воды. И это служит одним из главных недостатков метода.

Со временем эксплуатации обратноосмотических установок из мембран в воду начинают вымываться незаполнившиеся мономеры, а также образуются пустоты (каверны), заполняемые органическим веществом, которое служит питательной средой для микроорганизмов и «вторичного» обсеменения очищенной воды.

Дистилляция. Основанный на температурной возгонке с последующим конденсацией водяного пара, дистилляционный метод опреснения является одним из наиболее используемых методов приготовления питьевой воды из морской [18]. Главным недостатком дистилляционных методов опреснения является накипеобразование на поверхностях теплообмена, а также высокая энергопотребность.

Метод дистилляции наиболее эффективен при опреснении высокоминерализованных вод с содержанием более 13–15 г/л.

Обработка морской воды на исходной стадии предусматривает предочистку – фильтрацию, осаждение, умягчение, деаэрацию, реагентную обработку.

Вода, опресненная методом дистилляции, содержит очень мало минеральных веществ. Вместе с тем в дистилляте может присутствовать ряд химических веществ, поступающих в него при возгонке с водяными парами (бром), при выщелачивании из конструкционных материалов (медь, железо, никель, кадмий и др.). Важное место в загрязнении готового продукта испарительных установок (дистиллята) могут занимать реагенты и полимеры, используемые в технологических или конструкционных материалах (гидрофобные теплоносители, теплообменные трубы, антикоррозионные покрытия, антيناкипины).

Дистилляция обладает высокой барьерной ролью в отношении загрязнения воды микроорганизмами и канцерогенными ПАУ. Однако на практике дистилляционное опреснение не является абсолютно надежным способом обеззараживания воды, поскольку возможны как подсос микробного загрязнения извне вследствие создания вакуума во внутреннем контуре опреснителей и в теплообменниках – конденсаторах, так и частичный занос микроорганизмов с водяным паром [19]. В результате, опресненная методом дистилляции вода должна обязательно обеззараживаться.

Особое место при коррекции солевого состава занимает обогащение дистиллята бикарбонатными солями кальция, что является важным фактором повышения вкусовых свойств воды, ее физиологической полноценности и стабильности.

⁷ МУ № 2261–80. Методические указания по санитарному контролю за применением и эксплуатацией обратноосмотических опреснительных установок. М., 1980.

Основное преимущество перед другими способами опреснения морской воды у дистилляции обусловлено ограниченным использованием полимеров и изменением изотопной структуры воды, исключая накопление «тяжелой воды» в дистилляте.

Электродиализ. Данный способ опреснения воды обеспечивают катионитовые и анионитовые мембраны в электрическом поле⁸. Его экономически оправдано использовать при деминерализации вод с содержанием солей от 1,5 до 15 г/л. Легче подвергаются опреснению хлоридные воды, значительно труднее опресняются воды сульфатного типа.

Помимо обессоливания, электродиализ задерживает нефтепродукты (на 50 %), ПАУ (на 50 %), ПАВ (на 50–60 %), фенолы (на 35 %).

Требования к исходной морской воде для использования электродиализного опреснения включают: взвешенные вещества до 2 мг/л, цветность до 20° платинокобальтовой шкалы, железо (общее) и марганец до 0,05 мг/л, окисляемость до 5 мг O₂/л. Поэтому при несоответствии исходной воды данным требованиям предусматривают ее предподготовку на специальных сооружениях.

Использование органических мембран, как и в случае обратного осмоса, сопряжено с вымыванием продуктов деструкции органических мембран и опасностью вторичного микробного загрязнения опресненной воды [20].

Ионный обмен. В основу метода ионного обмена положено последовательное фильтрование высокоминерализованной воды через катионит в Н-форме и через анионит в ОН-форме для обмена катионов и анионов воды на Н⁺ и ОН⁻ ионы ионообменных смол и, таким образом, опреснения. Опреснение методом ионного обмена экономически целесообразно при весьма ограниченной по минерализации воды — до 3 г/л. Другие требования к исходной воде включают: содержание взвешенных веществ до 8 мг/л, цветность воды до 30° по платиново-кобальтовой шкале, перманганатная окисляемость до 7 мг O₂/л, ХПК до 15 мг O₂/л.

Важное преимущество метода ионного обмена перед другими способами опреснения воды заключается в опреснении практически всей исходной воды, в то время как при других методах доля опресненной воды обычно не превышает 50 % от исходной. Метод ионного обмена является самым экономичным и единственным, позволяющим получать воду любой степени минерализации⁹.

К числу недостатков опреснения методом ионного обмена относятся, как и у других методов, использующих фильтрацию через полимерные материалы, вымывание органических (исходных мономеров и полупродуктов синтеза, продуктов деструкции, таких как фенол, стирол, формальдегид и др.) и неорганических (ионы металлов и др. соединений) веществ, возможность вторичного загрязнения опресненной воды микроорганизмами, засорившими анионит.

Обсуждение результатов. В настоящее время научно разработана методология применения

[21] и контроля опреснения вод¹⁰, нормирования биогенных элементов в воде [22–25]. Учитывая образования в результате опреснения минерализованных вод рассолов с высокой концентрацией минеральных веществ, необходимо предусматривать мероприятия по предотвращению их сброса в открытые водоемы и водоносные горизонты питьевого назначения [26, 27].

Принимая во внимание недостатки и преимущества разных способов приготовления питьевой воды из морской, можно отметить, что, наряду с собственно опреснением, отделением солей от воды, эффективность приготовления питьевой воды и ее безопасность определяются рядом дополнительных условий, как предшествующих опреснению, так и следующих после него [28].

Среди вопросов, решение которых важно для обеспечения качества питьевой воды, — обеспечение качества исходной воды, основанное прежде всего на санитарной охране мест водопользования от загрязнения сточными водами и с учетом природной динамики состава морской воды под влиянием водных организмов. Например, соленость морской воды Черного, Азовского морей существенно различается, составляя соответственно 18 и 7 промилле [29].

Гигиеническое изучение условий санитарной охраны мест водозабора позволит не только предотвратить загрязнение воды в источнике водоснабжения, но и обосновать ограничения для использования технологии опреснения, требования к их эффективности.

Использование морской воды для питьевого водоснабжения Крыма является вполне реализуемой задачей. Проработки этого вопроса показывают [30, 31], что такое решение в мире уже является обычной практикой [32, 33]. К примеру, в Израиле в 1999 г. обратный осмос был принят как ведущий метод опреснения солоноватой и морской воды [34]. Разработана новая энергоэффективная электродиализная система для непрерывного опреснения солоноватой воды [35]. Достижения в области мембранных материалов и процессов опреснения солоноватой воды [36] позволяют значительно расширить применение обратноосмотических и диализных способов опреснения [37], использовать возможности комбинированного опреснения [38]. Все шире используются гибридные способы очистки воды [39, 40].

Независимо от предложенного метода и способа опреснения морской воды Черного моря, отличающегося гидрологическими особенностями стратификации химического состава, до его внедрения необходимо прохождение санитарно-эпидемиологической экспертизы проекта строительства водоопреснительных сооружений при наличии результатов натурных исследования опресняемой воды (с привлечением специалистов по технологиям водоочистки). Введение в эксплуатацию построенных сооружений и принятие решения о допустимости водоснабжения населения такой водой в питьевых и хозяйственно-бытовых целях возможно только поле проведения лабораторных исследований опресняемой и опресненной воды

⁸ Методические указания по санитарному контролю за применением и эксплуатацией электродиализных опреснительных установок. Утверждены заместителем Главного государственного санитарного врача СССР В.Е. Ковшило 22 ноября 1985 г. № 4044-85.

⁹ Методические указания по санитарному надзору за применением и эксплуатацией ионообменных опреснительных установок в хозяйственно-питьевом водоснабжении № 4045-85. М.: Минздрав СССР, 1985.

¹⁰ Единые санитарно-эпидемиологических и гигиенических требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), утв. решением Комиссии Таможенного союза от 28.05.2010 № 299 в рамках ЕАЭС.

в аккредитованной лаборатории по программе, которая может быть разработана во ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора.

Заключение. Использование методов опреснения морской воды для восполнения дефицита пресной воды в отдельных регионах Российской Федерации, прилегающих к морским водами, может стать эффективным средством обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и послужить действенной мерой достижения целей устойчивого развития. Вместе с тем особенности природного состава морских вод, их подверженность антропогенному загрязнению определяют широкий круг актуальных вопросов обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. К вопросам безопасного для здоровья населения использования опресненной морской воды в питьевых и хозяйственно-бытовых целях относятся: выбор источника, места водозабора, обеспеченного санитарной охраной от природного и техногенного загрязнения, обоснование адекватных составу морской воды и динамике ее состава способов и режимов предварительной подготовки исходной морской воды, основного опреснения и обеспечения безопасности продуктов деструкции и миграции токсичных веществ из используемых реагентов и материалов конструкции опреснительных установок, дополнительное кондиционирование необходимыми элементами и обеззараживание приготовленной воды, а также охрана окружающей среды от загрязнения отходами опреснения вод. Организация централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения с использованием в качестве источников водоснабжения морской воды в Российской Федерации имеет научно обоснованную методическую базу, основанную на глубоких экспериментальных и натурных исследованиях. Реализация централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения из морских источников водоснабжения должна послужить одним из элементов водной стратегии России. Обеспечение безопасности для здоровья населения при использовании опресненной морской воды в питьевых и хозяйственно-бытовых целях основано на научно обоснованном выборе: а) мест водозабора, имеющих защиту от природного и техногенного загрязнения; б) способов и режимов предварительной подготовки исходной морской воды; в) способа опреснения и используемых реагентов и материалов конструкции опреснительных установок, г) технологии дополнительного кондиционирования и обеззараживания приготовленной воды; д) способов охраны окружающей среды от загрязнения отходами опреснения вод.

Список литературы

- Desalination Experts Group. *Desalination in the GCC. The History, the Present & the Future*. 2nd ed. The Cooperation Council for the Arab States of the Gulf General Secretariat; 2014. Accessed August 25, 2021. <https://www.gcc-sg.org/en-us/CognitiveSources/DigitalLibrary/Lists/DigitalLibrary/Water%20and%20Electricity/1414489603.pdf>
- Guidelines for drinking-water quality – 4th ed. Geneva: World Health Organization; 2017 License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Ghiorghita CA, Mihai M. Recent developments in layer-by-layer assembled systems application in water purification. *Chemosphere*. 2020;270:129477. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.129477
- Katekar VP, Deshmukh SS. Techno-economic review of solar distillation systems: A closer look at the latest developments for commercialisation. *J Clean Prod*. 2021;294:126289. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126289
- Tawalbeh M, Al-Othman A, Abdelwahab N, Alami AH, Olabi AG. Recent developments in pressure retarded osmosis for desalination and power generation. *Renew Sustain Energy Rev*. 2021;138(C):110492. doi: 10.1016/j.rser.2020.110492
- Sözen S, Teksoy S, Papapetrou M. Assessment of institutional and policy conditions in Turkey: implications for the implementation of autonomous desalination systems. *Desalination*. 2008;220:441-454. doi: 10.1016/j.desal.2007.04.058
- Ивлева Г.А., Гусев Н.Н. Анализ мирового опыта и научно-технических разработок в области кондиционирования опресненных высокоминерализованных вод для питьевых целей. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 10. С. 162–170.
- Сигора Г.А., Ничкова Л.А., Хоменко Т.Ю. Выбор оптимальной системы опреснения морской воды для Крымского региона // Вестник современных технологий. 2017. № 4 (8). С. 48–55.
- Ляшевский В.И., Джапарова А.М. К проблеме опреснения морской воды в Крыму. Таврический вестник аграрной науки. 2015. № 1 (3). С. 63–68.
- Zhang H, Ma H, Liu S, Wang H, Sun Y, Qi D. Investigation on the operating characteristics of a pilot-scale adsorption desalination system. *Desalination*. 2020;473:114196. doi: 10.1016/j.desal.2019.114196
- Насонова О.Н., Гусев Е.М., Ковалев Е.Э., Шурхно Е.А. Глобальные оценки изменения составляющих водного баланса суши в связи с возможным изменением климата // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 4. С. 361–367. doi: 10.31857/S0321059621040155
- Sharif S, Ahmad KS, Rehman F, Bhatti Z, Thebo KH. Two-dimensional graphene oxide based membranes for ionic and molecular separation: Current status and challenges. *J Environ Chem Eng*. 2021;9(4):105605. doi: 10.1016/j.jece.2021.105605
- Dayanandan N, Kapoor A, Sivaraman P. Studies on membrane distillation towards mitigating thermal pollution. *Chem Pap*. 2021;75:1-15. doi: 10.1007/s11696-021-01525-x
- Belgada A, Achiou B, Younssi SA, et al. Low-cost ceramic microfiltration membrane made from natural phosphate for pretreatment of raw seawater for desalination. *J Eur Ceram Soc*. 2021;41(2):1613-1621.
- Kugarajah V, Ojha AK, Ranjan S, et al. Future applications of electrospun nanofibers in pressure driven water treatment: A brief review and research update. *J Environ Chem Eng*. 2021;9(2). doi: 10.1016/j.jece.2021.105107
- Lior N, El-Nashar A, Sommariva C. Advanced instrumentation, measurement, control and automation (IMCA) in multistage flash (MSF) and reverse-osmosis (RO) water desalination. In: Lior N, ed. *Advances in Water Desalination*. Wiley, 2012:453-658.
- Boussouga Y-A, Richards BS, Schäfer AI. Renewable energy powered membrane technology: System resilience under solar irradiance fluctuations during the treatment of fluoride-rich natural waters by different nanofiltration/reverse osmosis membranes. *J Membr Sci*. 2021;617:118452. doi: 10.1016/j.memsci.2020.118452
- Pandelidis D, Chichoñ A, Pacak A, et al. Water desalination through the dewpoint evaporative system. *Energy Convers Manag*. 2021;229:113757. doi: 10.1016/j.enconman.2020.113757
- Laxman K, Myint MTZ, Al Abri M, Sathe P, Dobretsov S, Dutta J. Desalination and disinfection of inland brackish ground water in a capacitive deionization cell using nanoporous activated carbon cloth electrodes. *Desalination*. 2015;362:126-132.
- Сидоренко Г.И., Рахманин Ю.А., Никитина Ю.Н., Рожнов Г.И., Мельникова А.И. Санитарно-микробиологическая оценка электродиализного метода опреснения воды // Гигиена и санитария. 1978. № 11. С. 14–22.
- Рахманин Ю.А., Вахнин И.Г., Максин В.И. и др. Санитарно-технологические основы коррекции солевого состава опресненной воды гашенной известью // Гигиена и санитария. 1989. № 6. С. 66–69.

22. Рахманин Ю.А., Солохина Т.А., Меркурьева Р.В., Ершова К.П. Гигиеническая оценка полиамидных мембран ФЕНИЛОН-2С и формальдегидной смолы ВИАМ-Б, применяемых при обратноосмотическом опреснении воды // Гигиена и санитария. 1981. № 10. С. 19–22.
23. Сидоренко Г.И., Рахманин Ю.А., Рожнов Г.И. и др. Гигиеническая оценка опресненной воды для питьевого водоснабжения // Гигиена и санитария. 1974. № 10. С. 10–16.
24. 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.
25. Рахманин Ю.А., Кирьянова Л.Ф., Михайлова Р.И., Севостьянова Е.М. Кариес и фтор: роль водного фактора, проблемы и решения // Вестник Российской академии наук. 2001. Т. 71. № 6. С. 34.
26. Авчинников А.В., Беляева Н.Н., Рахманин Ю.А. Оценка гонадотоксического действия воды, кондиционированной импульсными разрядами // Гигиена и санитария. 2001. № 5. С. 17–20.
27. Байгазы Кызы Н. Экологические и гигиенические проблемы опреснения воды // Актуальные проблемы социально-гуманитарного и научно-технического знания. 2019. № 3 (19). С. 1–3.
28. Рахманин Ю.А., Кирьянова Л.Ф., Михайлова Р.И. Гигиеническая оценка водоочистных устройств // Методы оценки соответствия. 2010. № 1. С. 38–41.
29. Греков А.Н., Греков Н.А., Сычев Е.Н. Анализ метода определения солёности морских вод по измерениям температуры, скорости звука и давления. В книге: Моря России: методы, средства и результаты исследований: труды конференции, Севастополь, 24–28 сентября 2018 года. Севастополь: Морской гидрофизический институт РАН, 2018. С. 129.
30. Венчакова В.В., Бурнашов Л.Б. Сравнительная гигиеническая оценка современных методов опреснения воды. В книге: Мечниковские чтения-2020. Материалы 93-й Всероссийской научно-практической студенческой конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 29–30 апреля 2020 года. СПб.: Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, 2020. С. 234–235.
31. Кисель А.В. Опреснение морской воды Черного, Азовского и Каспийского морей методами мембранных технологий. Вестник науки. 2019. Т. 3. № 2 (11). С. 79–94.
32. Лешков И.И. Опреснение соленой воды. Colloquium-journal. 2019. № 22-1 (46). С. 52–53.
33. Магдыч Е.А., Ведищева О.В., Ворник О.В. Опреснение морской воды, как потенциальный источник водоснабжения республики Крым. Аллея науки. 2020. Т. 1. № 4 (43). С. 209–212.
34. Орловский Н.С., Зонн И.С. Водные ресурсы Израиля: опыт освоения. Проблемы постсоветского пространства. 2018. Т. 1. № 5. С. 8–36.
35. Chen QB, Wang J, Liu Y, Zhao J, Li P. Novel energy-efficient electrodialysis system for continuous brackish water desalination: Innovative stack configurations and optimal inflow modes. *Water Res.* 2020;179:115847.
36. Duong HC, Tran TL, Ansari AJ, Cao HT, Vu TD, Do KU. Advances in membrane materials and processes desalination of brackish water. *Curr Pollution Rep.* 2019;5:319–336. doi: 10.1007/s40726-019-00121-8
37. Glueckstern P, Priel M. Boron removal in brackish water desalination systems. *Desalination.* 2007;205(1-3):178–184. doi: 10.1016/j.desal.2006.02.054
38. Ахмедова Д.А., Амагалиев М.М. Энергосберегающая технология комбинированного опреснения морской воды. Энергосбережение и водоподготовка. 2011. Т. 5. № 65. С. 37–40.
39. Gao L, Liu G, Zamyadi A, Wang Q, Li M. Life-cycle cost analysis of a hybrid algae-based biological desalination – low pressure reverse osmosis system. *Water Res.* 2021;195: 116957. doi: 10.1016/j.watres.2021.116957
40. Falahieh M, Bonyadi M, Lashanizadegan A. A new hybrid desalination method based on the CO₂ gas hydrate and capacitive deionization processes. *Desalination.* 2021;502:114932. doi: 10.1016/j.desal.2021.114932

References

- Desalination Experts Group. *Desalination in the GCC. The History, the Present & the Future.* 2nd ed. The Cooperation Council for the Arab States of the Gulf General Secretariat; 2014. Accessed August 25, 2021. <https://www.gcc-sg.org/en-us/CognitiveSources/DigitalLibrary/Lists/DigitalLibrary/Water%20and%20Electricity/1414489603.pdf>
- Guidelines for drinking-water quality – 4th ed. Geneva: World Health Organization; 2017 License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Ghiorghita CA, Mihai M. Recent developments in layer-by-layer assembled systems application in water purification. *Chemosphere.* 2020;270:129477. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.129477
- Katekar VP, Deshmukh SS. Techno-economic review of solar distillation systems: A closer look at the latest developments for commercialisation. *J Clean Prod.* 2021;294:126289. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126289
- Tawalbeh M, Al-Othman A, Abdelwahab N, Alami AH, Olabi AG. Recent developments in pressure retarded osmosis for desalination and power generation. *Renew Sustain Energy Rev.* 2021;138(C):110492. doi: 10.1016/j.rser.2020.110492
- Sözen S, Teksoy S, Papapetrou M. Assessment of institutional and policy conditions in Turkey: implications for the implementation of autonomous desalination systems. *Desalination.* 2008;220:441–454. doi: 10.1016/j.desal.2007.04.058
- Ivleva GA, Gusev NN. [Analysis of world experience and scientific and technical developments in the field of conditioning of desalinated highly mineralized water for drinking purposes (applicable to mineral waters of Eastern Donbass).] *Gornyy Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten'.* 2011;(10):162–170. (In Russ.)
- Sigora GA, Nichkova LA, Khomenko TY. The choice of the optimal desalination systems of sea water for the Crimean Region. *Vestnik Sovremennykh Tekhnologiy.* 2017;(4(8)):48–55. (In Russ.)
- Lyashevskiy VI, Dzharparova AM. On the problem of desalination of sea water in Crimea. *Tavricheskiy Vestnik Agrarnoy Nauki.* 2015;(1(3)):63–68. (In Russ.)
- Zhang H, Ma H, Liu S, Wang H, Sun Y, Qi D. Investigation on the operating characteristics of a pilot-scale adsorption desalination system. *Desalination.* 2020;473:114196. doi: 10.1016/j.desal.2019.114196
- Nasonova ON, Gusev EM, Kovalev EE, Shurkhno EA. [Global estimates of changes in the components of the land water balance in connection with possible climate change.] *Vodnye Resursy.* 2021;48(4):361–377. (In Russ.) doi: 10.31857/S0321059621040155
- Sharif S, Ahmad KS, Rehman F, Bhatti Z, Thebo KH. Two-dimensional graphene oxide based membranes for ionic and molecular separation: Current status and challenges. *J Environ Chem Eng.* 2021;9(4):105605. doi: 10.1016/j.jece.2021.105605
- Dayanandan N, Kapoor A, Sivaraman P. Studies on membrane distillation towards mitigating thermal pollution. *Chem Pap.* 2021;75:1–15. doi: 10.1007/s11696-021-01525-x
- Belgada A, Achiou B, Younssi SA, et al. Low-cost ceramic microfiltration membrane made from natural phosphate for pretreatment of raw seawater for desalination. *J Eur Ceram Soc.* 2021;41(2):1613–1621.
- Kugarajah V, Ojha AK, Ranjan S, et al. Future applications of electrospun nanofibers in pressure driven water treatment: A brief review and research update. *J Environ Chem Eng.* 2021;9(2). doi: 10.1016/j.jece.2021.105107
- Lior N, El-Nashar A, Sommariva C. Advanced instrumentation, measurement, control and automation (IMCA) in multistage flash (MSF) and reverse-osmosis (RO) water desalination. In: Lior N, ed. *Advances in Water Desalination.* Wiley, 2012:453–658.
- Boussouga Y-A, Richards BS, Schäfer AI. Renewable energy powered membrane technology: System resilience under solar irradiance fluctuations during the

- treatment of fluoride-rich natural waters by different nanofiltration/reverse osmosis membranes. *J Membr Sci.* 2021;617:118452. doi: 10.1016/j.memsci.2020.118452
18. Pandelidis D, Chichoń A, Pacak A, et al. Water desalination through the dewpoint evaporative system. *Energy Convers Manag.* 2021;229:113757. doi: 10.1016/j.enconman.2020.113757
 19. Laxman K, Myint MTZ, Al Abri M, Sathe P, Dobretsov S, Dutta J. Desalination and disinfection of inland brackish ground water in a capacitive deionization cell using nanoporous activated carbon cloth electrodes. *Desalination.* 2015;362:126–132.
 20. Sidorenko GI, Rakhmanin YuA, Nikitina YuN, Rozhnov GI, Melnikova AI. [Sanitary and microbiological assessment of the electro dialysis method of water desalination.] *Gigiena i Sanitariya.* 1978;(11):14–22. (In Russ.)
 21. Rakhmanin YuA, Vakhnin IG, Maksin VI, et al. [Sanitary and technological bases of correction of the salt composition of desalinated water with slaked lime.] *Gigiena i Sanitariya.* 1989;(6):66–69. (In Russ.)
 22. Rakhmanin YuA, Solokhina TA, Merkuryeva RV, Yershova KP. [Hygienic assessment of polyamide membranes PHENYLON-2S and formaldehyde resin VIAM-B used in reverse osmotic desalination of water.] *Gigiena i Sanitariya.* 1981;(10):19–22. (In Russ.)
 23. Sidorenko GI, Rakhmanin YuA, Rozhnov GI, et al. [Hygienic assessment of desalinated water for drinking water supply.] *Gigiena i Sanitariya.* 1974;(10):10–16. (In Russ.)
 24. Rakhmanin YuA, Mikhaylova RI, Sevostyanova EM. [Physiological and hygienic bases of regulating the content of biogenic elements in water.] *Ekologicheskii Vestnik Rossii.* 2008;(5):36–37. (In Russ.)
 25. Rakhmanin YuA, Mikhaylova RI, Kiryanova LF, Sevostyanova EM. [Caries and fluorine: the role of the water factor, problems and solutions.] *Vestnik Rossiyskoy Akademii Nauk.* 2001;71(6):34–39. (In Russ.)
 26. Avchinnikov AV, Belyaeva NN, Rakhmanin YuA. [Assessment of the gonadotoxic effect of water conditioned by pulsed discharges.] *Gigiena i Sanitariya.* 2001;(5):17–20. (In Russ.)
 27. Baigazy kyzy N. [Ecological and hygienic problems of water desalination.] *Actual'nye Problemy Sotsialno-Gumanitarnogo i Nauchno-Tekhnicheskogo Znaniya.* 2019;(3(19)):1–3. (In Russ.)
 28. Rakhmanin YuA, Kiryanova LF, Mikhaylova RI. [Hygienic assessment of water treatment devices.] *Methody Otsenki Sootvetstviya.* 2010;(1):38–41. (In Russ.)
 29. Grekov AN, Grekov NA, Sychev EN. [Analysis of the method for determining the salinity of sea waters by measurements of temperature, sound velocity and pressure.] In: *The Seas of Russia: Methods, Means and Results of Studies: Proceedings of the Conference, Sevastopol, September 24–28, 2018.* Sevastopol: Marine Hydrophysical Institute RAS Publ., 2018:129. (In Russ.)
 30. Venchakova VV, Burnashov LB. [Comparative hygienic assessment of modern methods of water desalination.] In: *Mechnikov Readings—2020: Proceedings of the 93rd All-Russian Scientific and Practical Student Conference with international participation, Saint Petersburg, April 29–30, 2020.* St. Petersburg: North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov Publ., 2020:234–235. (In Russ.)
 31. Kisel AV. [Desalination of sea water of the Black, Azov and Caspian seas by membrane techniques.] *Vestnik Nauki.* 2019;3(2(11)):79–94. (In Russ.)
 32. Leshkov II. Salt water desalination. *Colloquium-Journal.* 2019; (22-1(46)):52–53. (In Russ.)
 33. Magdych EA, Vedishcheva OV, Vornik OV. [Desalination of sea water as a potential source of water supply in the Republic of Crimea.] *Alleya Nauki.* 2020;1(4(43)):209–212. (In Russ.)
 34. Orlovsky NS, Zonn IS. Water resources of Israel: Track record of the development. *Problemy Post-Sovetskogo Prostranstva.* 2018;5(1):8–36. (In Russ.) doi: 10.2475/2313-8920-2018-5-1-8-36
 35. Chen QB, Wang J, Liu Y, Zhao J, Li P. Novel energy-efficient electro dialysis system for continuous brackish water desalination: Innovative stack configurations and optimal inflow modes. *Water Res.* 2020;179:115847.
 36. Duong HC, Tran TL, Ansari AJ, Cao HT, Vu TD, Do KU. Advances in membrane materials and processes desalination of brackish water. *Curr Pollution Rep.* 2019;5:319–336. doi: 10.1007/s40726-019-00121-8
 37. Glueckstern P, Priel M. Boron removal in brackish water desalination systems. *Desalination.* 2007;205(1-3):178–184. doi: 10.1016/j.desal.2006.02.054
 38. Akhmedova DA, Amagaliev MM. Energy-saving technology of combined desalination of sea water. *Energoberezhenie i Vodopodgotovka.* 2011;(5(65)):37–40. (In Russ.)
 39. Gao L, Liu G, Zamyadi A, Wang Q, Li M. Life-cycle cost analysis of a hybrid algae-based biological desalination – low pressure reverse osmosis system. *Water Res.* 2021;195: 116957. doi: 10.1016/j.watres.2021.116957
 40. Falahieh M, Bonyadi M, Lashanizadegan A. A new hybrid desalination method based on the CO₂ gas hydrate and capacitive deionization processes. *Desalination.* 2021;502:114932. doi: 10.1016/j.desal.2021.114932

