

Рахманин Ю.А.^{1,2}

Гигиенические основы опреснения и последующего кондиционирования высокоминерализованных вод для населения аридных территорий

¹Научно-исследовательский институт экологии человека и гигиены окружающей среды имени А.Н. Сысина
ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» ФМБА России,
119121, Москва, Россия;

²ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия

РЕЗЮМЕ

В статье на основании собственных экспериментальных и натурных исследований представлены приоритетные отечественные научные разработки дополнительных критериев, показателей и нормативов оценки качества опреснённых высокоминерализованных вод.

Необходимость применения новых современных технологий водоподготовки исходных вод, в том числе морских и особенно полученных из них опреснённых, для хозяйственно-питьевого использования отражена в международном документе — «Руководстве по гигиеническим аспектам опреснения воды» (1980), разработанном по заказу Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). «Руководство» было удостоено премии Совета Министров СССР (1988) и нашло широкое практическое применение, в том числе в крупных приморских городах: Шевченко (ныне Актау, Республика Казахстан), Красноводск (ныне Туркменбаши, Республика Туркменистан), Аден (Йеменская Республика). На примере 16 населённых мест Калмыкии показана необходимость детального изучения качества питьевой воды, используемой населением, для определения приоритетных мероприятий, направленных на совершенствование систем водоочистки. Показана перспективность физических методов водоподготовки, связанных с такими биологическими показателями качества питьевой воды, как водородно-кислородный изотопный состав и молекулярно-кластерная структура.

Ключевые слова: вода; эвапорация; минерализация; опреснение; водообусловленные; тригалометаны

Для цитирования: Рахманин Ю.А. Гигиенические основы опреснения и последующего кондиционирования высокоминерализованных вод для населения аридных территорий. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(9): 1229–1243. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-9-1229-1243> <https://elibrary.ru/rosslk>

Для корреспонденции: Рахманин Юрий Анатольевич, e-mail: awme@mail.ru

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 07.07.2025 / Принята к печати: 25.09.2025 / Опубликовано: 20.10.2025

Yuriy A. Rakhmanin^{1,2}

Hygienic principles of desalination and subsequent conditioning of highly mineralized waters for the population in arid territories

¹A.N. Sytin Research Institute of Human ecology and Environmental Health of the Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation;

²Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mitishchi, 141014, Russian Federation

ABSTRACT

The article, based on own experimental and field studies, presents priority domestic scientific developments of additional criteria, indices and standards for assessing the quality of desalinated highly mineralized waters, which determined the need to use new modern water treatment technologies for both source water, including sea water and, especially, desalinated water obtained from them for domestic and drinking use, reflected in the international document “Guidelines on Hygienic Aspects of Water Desalination” (1980). Developed by order of the World Health Organization (WHO), awarded the Government Prize of the Council of Ministers of the USSR (1988), and found widespread practical application, including in large coastal cities: Shevchenko (now Aktau, Republic of Kazakhstan), Krasnovodsk (Republic of Turkmenistan), Aden (Yemen). The example of sixteen populated areas of Kalmykia shows the need for a more extensive analysis of the quality of drinking water used by the population to determine priorities for health measures and improve water purification systems. The prospects of research on physical methods of water treatment related to conditioning of such biophysical indices of drinking water quality as its hydrogen-oxygen isotope composition and molecular cluster structure are shown.

Keywords: water; evaporation; mineralization; desalination; water-related; trihalomethanes

For citation: Rakhmanin Yu.A. Hygienic principles of desalination and subsequent conditioning of highly mineralized waters for the population in arid territories. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(9): 1229–1243. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-9-1229-1243> <https://elibrary.ru/rosslk> (In Russ.)

For correspondence: Yuriy A. Rakhmanin, e-mail: awme@mail.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: July 7, 2025 / Accepted: September 25, 2025 / Published: October 20, 2025

Вода является необходимым компонентом всех форм жизни на Земле. Её значение как ведущего экономического и социального фактора особенно ошутимо на урбанизированных аридных территориях многих государств. При этом парадоксальность проблемы водообеспечения этих территорий заключается в том, что, гранича с морями и океанами, покрывающими 2/3 поверхности нашей планеты, они не могут использовать их воды для хозяйственно-питьевых целей в силу высокой минерализованности. И вместе с тем мировые ресурсы пресных (естественно опреснённых) вод формируются на Земле в основном именно этими водами посредством их низкотемпературной эвапорации с поверхности океанов в атмосферу с последующей конденсацией и выпадением на сушу в виде осадков (иней, дождя, снега, града). Понимание этого процесса определило интенсивное развитие со второй половины XX века искусственного опреснения высокоминерализованных морских и подземных вод с использованием дистилляции, электродиализа, обратного осмоса, ионного обмена, вымораживания и других способов. В 1975 г. на основе документа «Кадастр опреснительных установок. Отчёт № 5», изданного Министерством внутренних дел США в марте 1975 г. (Desalting Plants Inventory. Report No. 5, United States Department of the Interior. March, 1975), нами был составлен атлас распределения первых пяти тысяч опреснительных установок в мире, представленный на примере региона Аравийского полуострова на рис. 1.

Для решения гигиенических задач опреснения высокоминерализованных вод Госкомитетом по науке и технике Совета Министров СССР было определено финансирование НИИ общей и коммунальной гигиены им. А.Н. Сысина АМН СССР (ныне НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина ФГБУ «ЦСП» ФМБА России) и создано головное научное подразделение — лаборатория гигиены опреснённых вод, которую доверили возглавить мне, тогда ещё кандидату медицинских наук.

Наиболее широкие и углублённые гигиенические экспериментальные и натурные исследования были проведены в НИИ ЭЧиГОС им. А.Н. Сысина по разработанной нами и утверждённой министром среднего машиностроения Е.П. Славским и министром обороны СССР Д.Ф. Устиновым программе на Каспийском море при изучении термических методов опреснения морской воды. Уникальность Каспийского моря и его экосистемы состоит в том, что они формируются лишь речным стоком, региональными

климатическими условиями и в определённой мере хозяйственной деятельностью человека. По существу, это озеро с солоноватой водой (уровень общей минерализации не более 14–15 г/л), что определяет соответствующую флору, фауну и рыбные ресурсы. При этом даже возможное в отдалённой перспективе строительство наиболее экономичных водоканальных транспортных систем между Каспийским и Чёрным морями (начатое ещё при Петре I) и между Каспийским морем и Персидским заливом при надлежащем гидрологическом контроле едва ли сможет существенно повлиять на общий уровень минерализации каспийской морской воды. Но такое решение будет представлять, несомненно, серьёзную проблему для санитарных и экологических государственных и общественных научных и контролирующих организаций. Вместе с тем по-прежнему остро будут стоять вопросы хозяйственно-питьевого обеспечения приморских аридных территорий пресной доброкачественной водой. Это касается прибрежных зон России, Казахстана и Туркменистана, в меньшей степени — прибрежных зон Азербайджана и Ирана.

Эта проблема усугубляется не только недостатком пресноводных подземных ресурсов, не говоря уже о речных, которые отсутствуют во многих местах, но и расширяющимися требованиями к качеству пресной питьевой воды и её безопасности для здоровья населения. Последнее определяет важность использования современных достижений, научных знаний и применения соответствующих методов исследования питьевой воды.

Примером такого углублённого подхода могут служить наши исследования, проведённые в 16 населённых пунктах Калмыкии, прилегающей к Каспийскому морю. Согласно данным местных санаторных органов и водоканалов, проводивших ограниченные исследования, в централизованных системах водоснабжения отклонения качества воды от группы государственных стандартов Союза ССР, принятых в 1972 г., отмечались преимущественно по органолептическим (прикус, цветность) показателям, уровням общей минерализации и жёсткости, содержанию в воде хлоридов, сульфатов и железа. С медицинской точки зрения это связывалось с ограничением водопользования, водообусловленной заболеваемостью мочекаменной болезнью и отдельными нарушениями функций желудочно-кишечного тракта. Однако проведённый специалистами НИИ ЭЧиГОС им. А.Н. Сысина углублённый анализ позволил выявить превышение установленных ПДК более

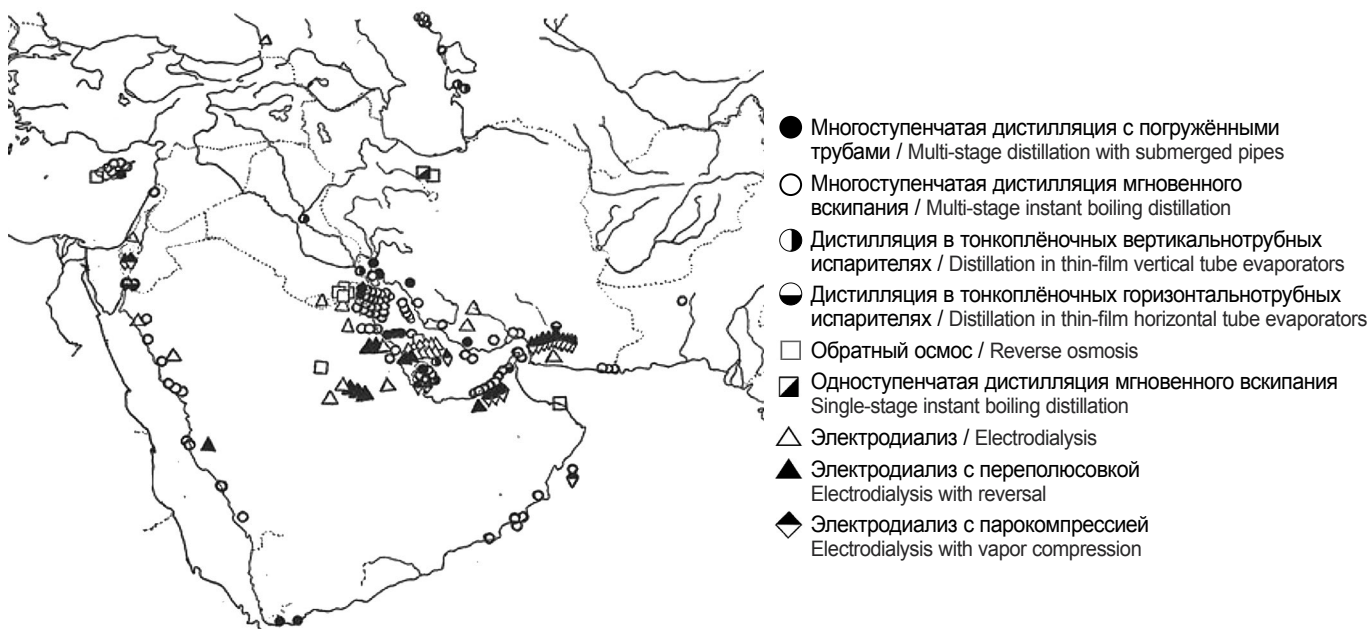


Рис. 1. Распределение первых опреснительных установок на Аравийском полуострове.

Fig. 1. Distribution of the first desalination plants in the Arabian Peninsula.

Таблица 1 / Table 1

Сравнительная оценка потенциального риска потребления питьевых вод в Калмыкии для здоровья населения**Comparative assessment of the potential risk of drinking water consumption in Kalmykia for public health**

Показатель Index		Питьевые воды 16 населённых мест Drinking water in 16 settlements		Предполагаемые риски для здоровья Alleged health risks
		% несоответствия % inconsistencies	Максимальное превышение нормативов Maximum excess of standards	
Показатели и частота отклонений химического состава от нормативов согласно официальной статистике The indices and frequency of deviations of the chemical composition from the standards according to official statistics	Привкус / Aftertaste	30	2.5	Нарушение функций желудочно-кишечного тракта и мочевыделительной системы; мочекаменная болезнь Gastrointestinal and urinary system disorders; urolithiasis
	Цветность / Colourity	40	4	
	Минерализация / Mineralization	46	2.5	
	Жёсткость / Hardness	30	2.2	
	Хлориды / Chlorides	46	2	
	Сульфаты / Sulfates	46	2	
Дополнительные показатели и частота отклонений химического состава от современных гигиенических требований The Additional indices and frequency of deviations of the chemical composition from modern hygienic requirements	Железо / Iron	15	1.8	Кариез зубов, онкологическая и генетическая патология, нарушение функций сердечно-сосудистой и кроветворной систем, репродуктивной функции у мужчин и женщин Dental caries, oncological and genetic pathologies, disorders of the cardiovascular and hematopoietic systems, and reproductive functions in men and women
	Фтор / Fluorine	100	3	
	Барий / Barium	40	2.4	
	Бор / Boron	25	3	
	Хлороформ / Chloroform	6	3.5	
	Дихлорбромметан / Dichlorobromomethane	13	2.6	
	Хлордибромметан / Chlorodibromomethane	19	2.2	
	Гексахлорбензол / Hexachlorobenzene	6	1.1	
	Перманентная окисляемость / Permanent oxidizability	19	1.3	
	Токсичность для гидробионтов (дафнии/инфузории) Toxicity for hydrobionts (daphnia/infusoria)	75/40	2	
	Суммарная мутагенная активность в тесте Эймса Total mutagenic activity in the Ames test	19	Слабая / Low	
	Комплексные показатели: / Comprehensive indices:			
	Cl + SO ₄	60	5.8	
	металлов / of metals	75	2.9	
	тригалометанов / of trihalomethanes	19	6.1	
	веществ 1–2-го классов опасности of substances of the 1 st and 2 nd hazard classes	100	16.8	
	Коррозионная активность по индексам П ₁ /П ₂ Corrosion activity according to the P ₁ /P ₂ indices	25/50	7/4	

чем в два раза по таким важным показателям, как содержание фтора, бария, бора, хлороформа, дихлорбромметана, хлордибромметана, а также по комплексным показателям хлоридов и сульфатов (в 5,8 раза), металлов (в 2,5 раза), тригалометанов (в 6,1 раза), веществ 1-го и 2-го классов опасности (в 16,8 раза). Были выявлены дополнительные и значительно более высокие риски для здоровья, заключающиеся в нарушении функций сердечно-сосудистой системы, репродуктивной функции у мужчин и женщин, болезней кроветворных органов, возможности развития кариеса зубов, злокачественных новообразований и формирования генетических патологий (табл. 1).

Огромную научно-практическую роль для повышения качества централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения сыграло промышленное освоение приморских территорий в г. Шевченко (ныне Актау, Республика Казахстан) и в п. Бекдаш (Республика Казахстан), г. Красноводске (ныне Туркменбаши, Республика Туркменистан). Первоначально временное водоснабжение этих мест было организовано с помощью железнодорожных цистерн с питьевой водой, водоносных танкеров и даже водотранспортных вертолётов, затем стали применять термические методы

опреснения каспийской морской воды на опреснительных установках — многокорпусных эвапорационных и многоступенчатых мгновенного вскипания в условиях вакуума (рис. 2).

Специалисты НИИ ЭЧигос им. А.Н. Сынина провели медико-биологические экспериментальные и натурные исследования [2, 3], показавшие неприемлемость длительного использования полностью деминерализованной (дистиллированной) воды в питьевых целях и необходимость коррекции органолептических свойств и содержания органических и химических компонентов, и разработали соответствующие гигиенические требования к питьевой воде [1]. Во Всесоюзном научно-исследовательском институте водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии Госстроя СССР (ВНИИ ВОДГЕО) была разработана и испытана нами на этих объектах технология получения опреснённой воды питьевого качества (рис. 3).

Технология состояла в том, что производственный дистиллят смешивали в определённом соотношении с местными подземными солоноватыми водами и подвергали кондиционированию на сорбционных (угольных) фильтрах, дезинфекции (хлором с преаммонификацией), стабилизации уровня коррозионной активности подщелачиванием.

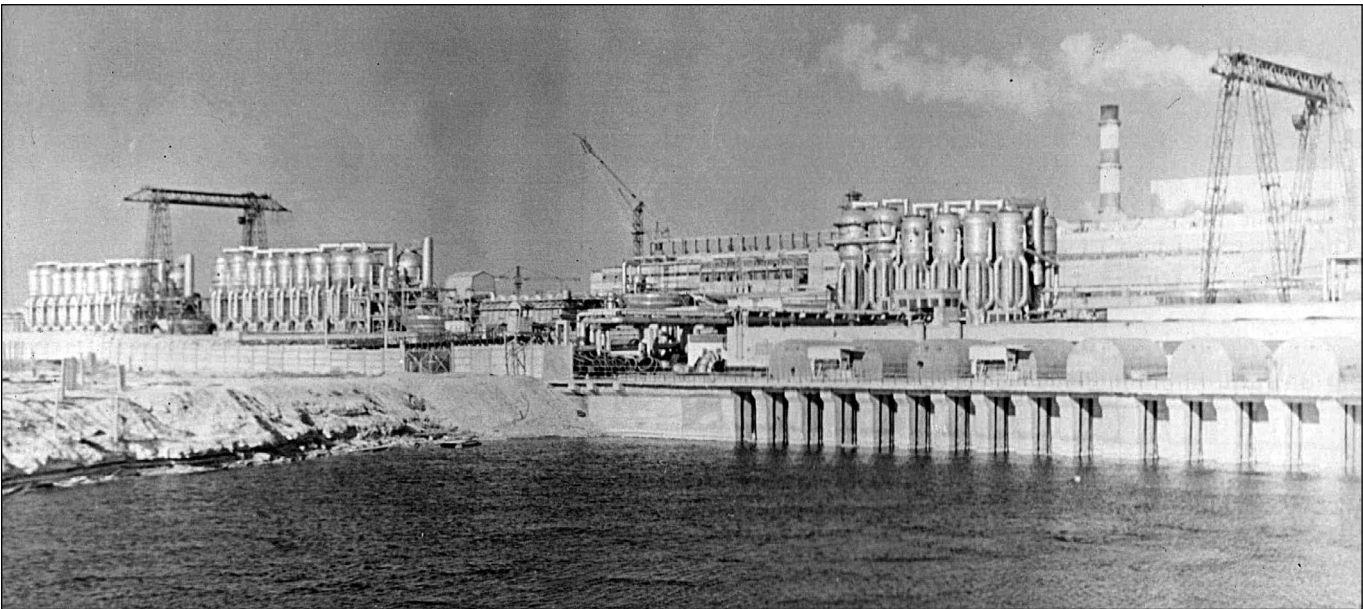
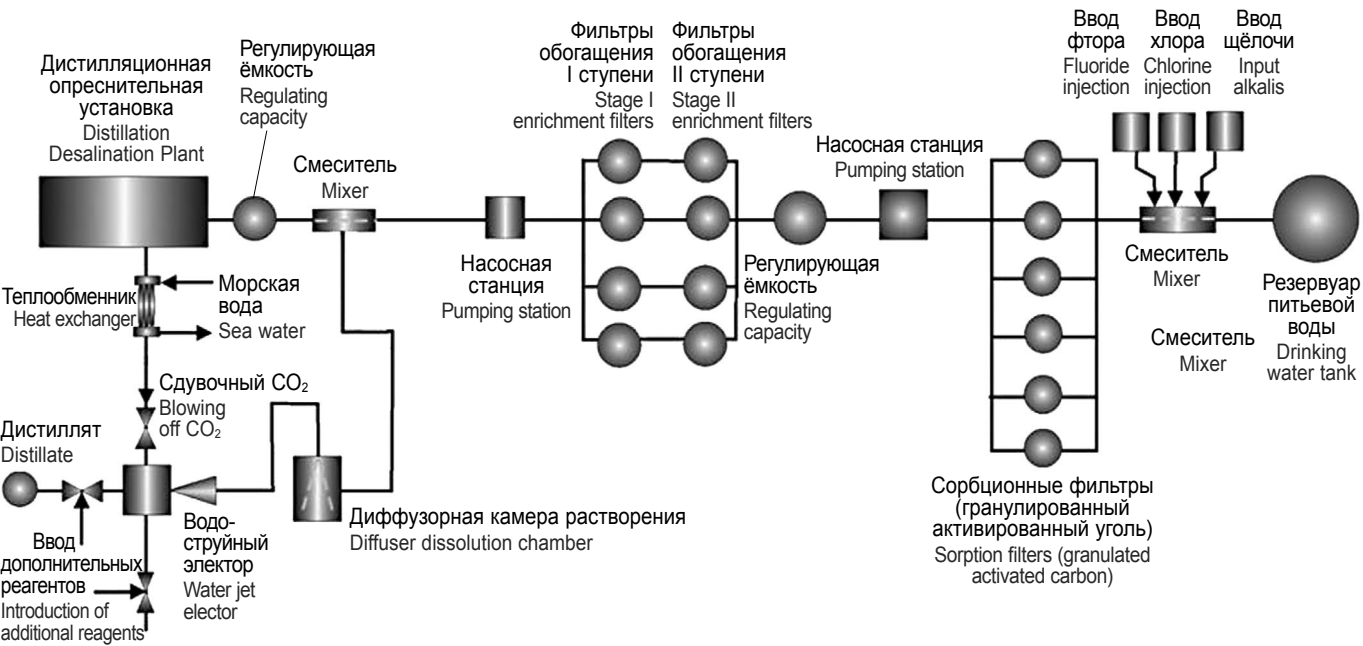
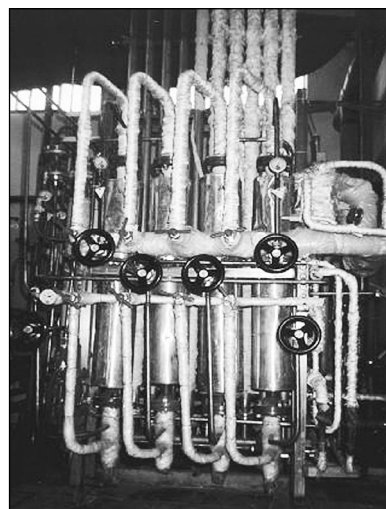
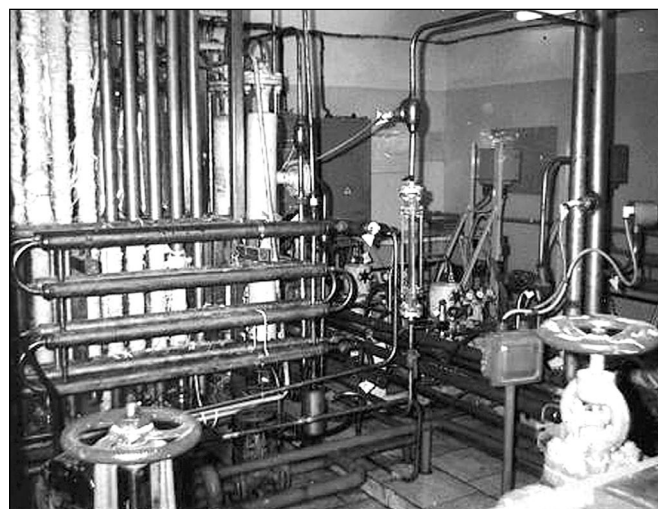


Рис. 2. Завод опреснения воды в городе Шевченко.
Fig. 2. Water Desalination Plant in city of Shevchenko.



Технологические и технические характеристики Technological and technical characteristics	
Производительность установок и станций, м³/сут Productivity of plants and stations, m³/day	1–200 000
Доза диоксида углерода, г/м³ Carbon dioxide dose, g/m³	до 50
Загрузка фильтров обогащения: гранулированный природный ракушечник или дроблёная мраморная крошка, доломит Loading enrichment filters granulated natural shell rock or crushed marble chips, dolomite	
Крупность кальцийкарбонатной загрузки, мм Size of calcium carbonate charge, mm	0.5–5.0
Время контакта диоксида углерода, мин: Carbon dioxide contact time, min:	
с кальцийкарбонатной загрузкой with calcium carbonate loading	не менее not less than 12
с раствором гидроксида кальция with calcium hydroxide solution	не менее not less than 2.0
Фторирующий реагент, г/м³ (фтористый натрий, обеспечивающий содержание фторид-иона в питьевой воде) Fluorinating agent, g/m³ (ftoristy natriy, obespecheniye soderzhaniya ftoridiona v pit'eyvoy vode)	1.2–1.5
Стабилизация щелочным реагентом (доза, обеспечивающая потенциал осаждения карбоната кальция), г CaCO₃, г/м³ Stabilization with alkaline reagent (dose providing potential for calcium carbonate precipitation), g CaCO₃, g/m³	4–10

Рис. 3. Технологическая схема получения питьевой воды на основе дистиллята, полученного опреснением морской воды.
Fig. 3. Technological scheme for obtaining drinking water based on distillate obtained by desalination of sea water.

Рис. 4. Фильтры очистки газообразного CO₂.Fig. 4. Filters for cleaning gaseous CO₂.Рис. 5. Конденсатор CO₂.Fig. 5. CO₂ condenser.Рис. 6. Узел подготовки газообразного CO₂.Fig. 6. CO₂ gas preparation unit.

Одновременно улучшали показатели физиологического соответствия солевого состава организму человека за счёт обогащения воды природными карбонатными солями жёсткости (Ca и Mg).

Пионерскими достижениями стали созданные ВНИИ ВОДГЕО устройства по увеличению водорастворимости кальция путём получения его мелкодисперсного оксида и активации последнего с применением плазмообразующего оборудования (плазмотрона) при температуре выше плюс 1000 °C; станции захвата и компримирования сдвучного диоксида углерода с водным паром, образующимся при технологическом процессе на дистилляционных опреснительных установках ДОУ (рис. 4–6); технология очистки воды от соединений бора и бромидов, а также очистки подземных вод от этих элементов в присутствии компонентов железа и марганца (рис. 7). Также институт проводил апробацию двухступенчатой технологии опреснения морской каспийской воды методом обратного осмоса (рис. 8).

В течение двадцати лет мы исследовали качество вод, полученных различными методами опреснения, в том числе проводили уникальные эксперименты на лабораторных

животных, обследовали различные контингенты. Результаты этих исследований вошли в пленарные доклады VI (1978) и VII (1980) Международных симпозиумов по опреснению воды [4, 5], в материалы трёх Всесоюзных совещаний по гигиеническим вопросам опреснения воды (Москва, 1975, 1981; Шевченко, 1988), в публикации международных журналов [6, 7] и международный документ «Руководство по гигиеническим аспектам опреснения воды» (1980), подготовленный нами по заказу Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [1] и действующий по настоящее время.

Результаты исследований, показавших недопустимость применения полностью деминерализованной (дистиллированной) воды для постоянного питьевого потребления, позволили установить минимально необходимые уровни минерализации (100 мг/л) и содержания кальция (25 мг/л) в питьевой воде, обосновать два новых дополнительных критерия оценки качества питьевой воды – физиологическую полноценность и стабильность качества [1, 2].

В дальнейшем была разработана нормативная база для максимально допустимой температуры воды в централизованных системах водоснабжения (плюс 28 °C), предель-

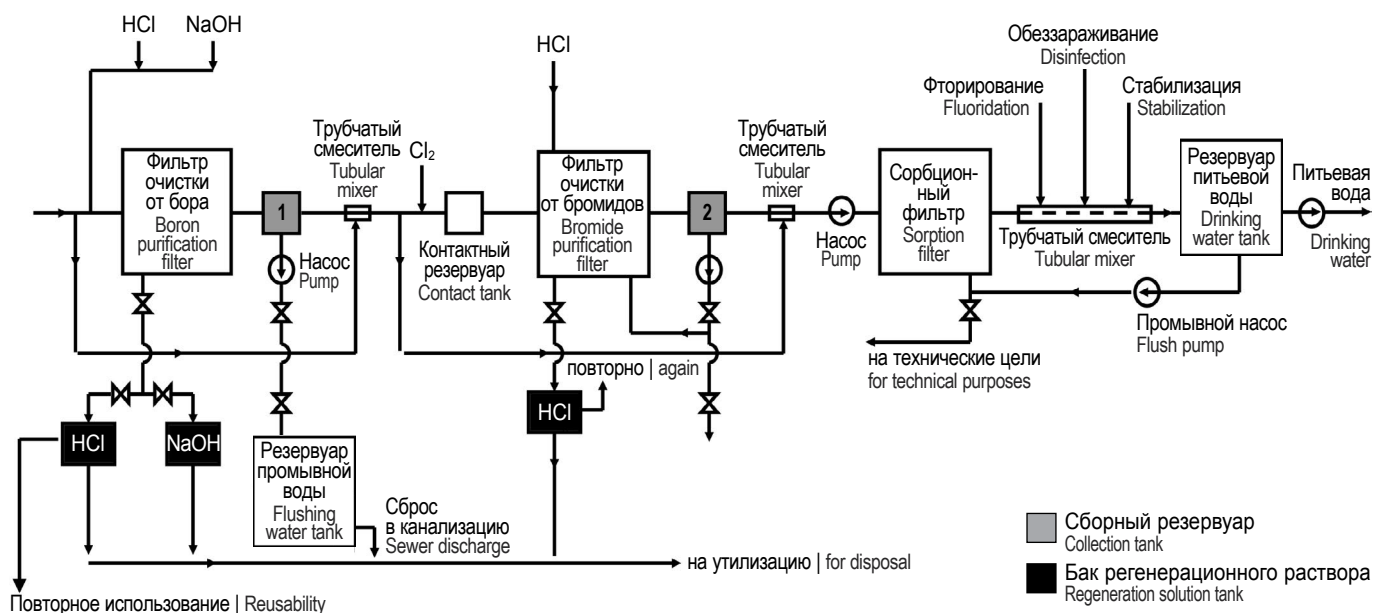


Рис. 7. Принципиальная технологическая схема очистки вод для питьевых целей от соединений бора и бромидов.

Fig. 7. Basic technological scheme of water purification for drinking purposes from boron and bromide compounds.



Рис. 8. Подготовка питьевой воды на заводе обратноосмотического опреснения каспийской морской воды.

Fig. 8. Preparation of drinking water at a reverse osmosis desalination plant for Caspian sea water.

но допустимого содержания микроэлемента бора (0,5 мг/л), оптимальных параметров содержания биогенных элементов магния, натрия, калия, йода и фтора, а также жёсткости и щёлочности воды. Эти показатели вошли в нормативный документ Комиссии Таможенного союза ЕврАзЭС¹, что значительно опередило научные разработки в других европейских странах (табл. 2).

Экспериментальные и натурные исследования позволили определить не только различные методы предварительной обработки исходных высокоминерализованных вод, в том числе фильтрационные, аэрационные, реагентные, повышающие эффективность и бесперебойности процессов опреснения воды, но и разнообразные способы (сорбционные, фильтрационные, реагентные, смесительные) кондиционирования конечного продукта — опреснённой питьевой воды [1], что нашло отражение и в Методических указаниях по санитарному контролю за применением и эксплуатацией электродиализных (№ 1211—74 от 31.12.1974 г., № 4044—85 от 22.11.1985 г.)², обратноосмотических (№ 2261—80 от 17.10.1980 г.)³, ионообменных (№ 4045—85 от 22.11.1985 г.)⁴, гелиоопреснительных (№ 4686—88 от 01.08.1988 г.)⁵, дистилляционных (№ 4687—88 от 01.08.1988 г.)⁶ опреснительных установок, технологические схемы которых представлены в общем виде в табл. 3, 4.

¹ Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). Решение Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 г. № 299 (с изменениями на 14 ноября 2023 г.) (редакция, действующая с 27 февраля 2024 г.).

² Методические указания по санитарному контролю за применением и эксплуатацией электродиализных опреснительных установок № 4044—85 от 22.11.1985 г. (утв. Минздравом СССР 22.11.1985 г. № 4044—85).

³ «Методические указания по санитарному контролю за применением и эксплуатацией обратноосмотических опреснительных установок» (утв. Минздравом СССР 17.10.1980 г. № 2261—80).

⁴ «Методические указания по санитарному надзору за применением и эксплуатацией ионообменных опреснительных установок в хозяйственно-питьевом водоснабжении» (утв. Минздравом СССР 22.11.1985 г. № 4045—85).

⁵ «Методические указания по санитарному контролю за применением и эксплуатацией гелиоопреснительных установок» (утв. Минздравом СССР 01.08.1988 г. № 4686—88).

⁶ «Методические указания по санитарному контролю за применением и эксплуатацией дистилляционных опреснительных установок» (утв. Минздравом СССР 01.08.1988 г. № 4687—88).

Практическое внедрение было выполнено на многих опреснительных станциях в Советском Союзе и при строительстве опреснительного комплекса в г. Адене (Йеменская Республика) (рис. 9). Достаточно высокая эффективность установок в отношении химических и биологических загрязнений представлена в (табл. 5).

Ориентация на повышенные гигиенические требования к качеству искусственно приготовленной опреснённой питьевой воды и использование новых дополнительных способов водообработки обусловили на основании экономических расчётов внедрение и апробацию в г. Шевченко двухтрубной системы водообеспечения населения: кухонную питьевую воду, пригодную для приготовления пищи, и хозяйственно-бытовую воду (с некоторыми отклонениями от питьевого качества) для подачи в санузлы, для душей и ванн.

В Красноводске прошла апробацию и трёхтрубная система водообеспечения: кухонная вода питьевого качества, вода для душей и ванн хозяйственно-бытового качества и исходная каспийская морская вода для подачи в санузлы, что в определённой мере усложняло процессы очистки сточных вод, но с учётом невысокого уровня минерализации каспийской морской воды позволяло проводить очистку бытовых стоков, достаточную для последующего сброса их в акваторию моря.

Особенно важным был избирательный отбор подземных минерализованных солоноватых вод, наиболее пригодных по показателям коррозионной активности и солевого макро- и микроэлементного состава. Так, из 56 скважин подземных вод Куялуского водоносного горизонта для системы смешения их с дистиллятом в г. Шевченко было отобрано лишь 48. Необходимо было также заменить сброс дорогих пресноводных сточных вод г. Шевченко обратно в море, избегав тем самым загрязнения прибрежной городской акватории, на закачку их после определённой водообработки в подземные песчаные водоносные горизонты, где зона влияния природных процессов биологической доочистки не выходила за пределы 200 м [8, 9]. Это решение позволяло в перспективе рассматривать пресноводные сточные воды как возможные инфильтрационные пресноводные водоисточники.

Таким образом, результаты проведённых фундаментальных и прикладных научных исследований открывали ши-

Таблица 2 / Table 2

Нормативы физиологической полноценности питьевой воды в России и за рубежом

The international guidelines and quality standards in Russian Federation and abroad

Показатель Indices	Нормативы физиологической полноценности питьевой воды The standards of the physiological adequacy of drinking water	Швейцария** Switzerland	Бельгия** Belgium	ЮАР** South Africa	Нормативы качества расфасованных питьевых вод Quality standards for packaged drinking water		
		нормативы воды высшего качества the standards for the waters of superior quality	нормативы качества питьевой воды the quality standards for drinking water	нормативы качества питьевой воды the quality standards for drinking water	первая категория first grade, not more	высшая категория superior grade, in limit	детская вода children's, in limit
Общая минерализация (сухой остаток), мг/л Total mineralisation (dry residual), Mg/L	> 100*—< 1000 < 500**	> 100 —< 500	< 1500	—	< 1000	> 200 —< 500	> 200—< 500
Жёсткость, Мг-экв/л Hardness, Mg-equiv/L	> 1.5 ^R —< 7 ^R	> 1.5 —< 2.5	> 1.6 —< 6.75	—	< 7	> 1.5 —< 7	> 1.5—< 6
Щёлочность Alkalinity	> 0,5*—< 6,5*	—	> 0,5	—	< 6.5	> 0.5 —< 6.5	> 0.5—< 5
Кальций, мг/л Calcium, Mg/L	> 25*—< 130 ^R	> 40 —< 125	> 50 —< 270	< 150	< 130	> 25 —< 80	> 25—< 60
Магний Magnesium	> 5* < 50 ^R	> 5 —< 30	> 6 —< 50	< 70	< 50	> 5 —< 50	> 5—< 35
Калий Potassium	—	< 10	< 12	< 200	< 20	> 2 —< 20	> 2—< 10
Бикарбонаты / Bicarbonates (HCO ₃)	> 30*—< 390*	—	> 30	—	< 400	> 30 —< 400	> 30—< 300
Фторид-ион Fluoride-ion	> 0.5—< 1.5 ^R < 4 # < 2**	—	> 0.7 —< 1.5	—	< 1.5	> 0.6 —< 1.2	> 0.6—< 1
Йодид-ион, мкг/л Iodide-ion, µg/L	> 10 ^R —< 125 ^R	—	—	< 500	< 125	> 40 —< 60	> 40—< 60

Примечание. * Руководство по аспектам опреснения воды, связанным со здоровьем человека (ВОЗ, ETS/80.4). ** Директива ЕС (1998 г.) 98/83/EU. # — Нормативы IBWA для бутилированной воды. ^R — Разработаны в Российской Федерации. Жирным шрифтом обозначены вновь разработанные гигиенические нормативы нижних и верхних границ оптимального содержания в питьевой воде.

Note: * Guidelines on health aspects of water desalination (WHO, ETS/80.4); ** The EU Directive (1998) 98/83/EU. # — The IBWA standards for bottled water. ^R — Developed in Russian Federation. The newly developed hygienic standards for the lower and upper limits of optimal levels in drinking water are indicated in bold.

рокие перспективы обводнения прикаспийских аридных территорий, существенного улучшения экологической ситуации и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия проживающего населения за счёт опреснённой каспийской морской воды.

Итоги наших многолетних исследований в виде комплексной научно-исследовательской и практически реализованной работы на указанных объектах, представленные по теме «Разработка санитарно-гигиенических основ, научное обоснование и практическое внедрение оригинальных сооружений, оборудования и технологических схем получения искусственной питьевой воды из морской на базе промышленных дистилляционных опреснительных установок для водоснабжения населённых мест и производств в аридных районах страны» (Ю.А. Рахманин, Р.И. Михайлова, А.В. Филиппова, В.Н. Тычинин, Н.И. Брюзгина, В.Ф. Маслов, И.Н. Усанов, А.И. Сорожкин, А.П. Егоров, Г.А. Ивлева, Г.С. Колядкина, Л.А. Гусева, Д.С. Юрченко, Ю.С. Баранов, В.Л. Малков, В.Г. Казеев, В.Ю. Тарабрин, В.Н. Мусихин, И.Г. Вахнин), выдвинутая Министерством здравоохранения СССР при поддержке Госстроя СССР, Мангышлакского энергокомбината (г. Шевченко), ВНИИ ВОДГЕО, в 1988 г. была удостоена высокой правительственной награды — премии Совета Министров СССР (постановление Совета Министров СССР от 09.04.1988 г.).

На новый уровень исследования в области оценки и кондиционирования питьевой воды вышли в 90-е годы XX — начале XXI века. Это было связано с интенсивным развитием квантовой физики, в частности биофизики молекулярно-кластерной структуры воды, изучением особенностей её

изотопного водородно-кислородного состава (протий, дейтерий, тритий, O₁₆, O₁₇, O₁₈), что имело большое значение и для исследований опреснённых высокоминерализованных вод. Технологии искусственного изменения молекулярно-кластерной структуры воды связаны, как правило, с воздействием на воду физических методов обработки, представленных на рис. 10 и частично в табл. 6, а такие воды получили название «функциональных», то есть имеющих направленно активированные биологические свойства.

Одно из таких направлений исследований, инициированных А.А. Тимаковым, связано с различиями водородно-кислородного изотопного состава воды. То, на что раньше не обращали внимания, стало предметом углублённого изучения. Известно, что тело человека массой 75 кг на 7,5 кг состоит из лёгкого водорода (протия, ≈ 10% от массы тела) и на 45,6 кг — из кислорода с атомарным весом ≈ 16. При этом в организме содержатся также тяжёлые изотопы водорода (дейтерий ≈ 2,3 г и тритий — ничтожно мало) и тяжёлые изотопы кислорода (O₁₇ ≈ 18,4 г и O₁₈ ≈ 102 г), биологическое действие которых практически не изучено. Сравнение соотношения тяжёлых и лёгких изотопов в организме по сравнению с океаническими и ледниковыми водами (см. табл. 6) показало отсутствие существенных различий для кислорода и наличие их для водорода, что выражалось в накопительном (кумулятивном) эффекте в организме человека. Это послужило основанием для исследования биологического воздействия на живые организмы изотопов, прежде всего тяжёлого изотопа водорода — дейтерия.

Профессор Н.С. Сергеева, изучавшая токсическое действие циклофосфана, показала большую выживаемость

Таблица 3 / Table 3

Классификация неблагоприятных свойств солёной и солоноватой воды и возможные технологии её очистки

Classification of unfavourable qualities of salt and brackish water and possible treatment technology

Методы опреснения воды Methods of water desalination	Физические и химические характеристики воды / Physical and chemical characteristics of water						Биологические / Biological									
	Взвешенное вещество Suspended matter	Плавающие вещества, масла Floating matter, oils	Соли жёсткости Salts of hardness	Микроэлементы Microelements Fe, Mn, Si	Органические вещества Organic substances	Температура Temperature	Химический состав по CAS CAS chemical composition	микробиологические Microbiological	гидробиологические Hydrobiological							
Основные возможные проблемы с качеством сырьевой воды, влияющие на процесс опреснения Main possible raw water quality problems affecting desalination process																
Дистилляция Distillation	–	+	+	–	–	+	++	–	++							
Замораживание Freezing out	–	++	–	–	–	+	–	–	++							
Электродиализ Electrodialysis	++	++	++	++	++	–	–	++	++							
Обратный осмос Reverse osmosis	++	++	++	++	+	–	–	+	++							
Длительное изменение Lon exchange	++	++	–	–	+	–	–	–	++							
Способы предварительной обработки сырьевой воды Preliminary raw water treatment methods																
Дистилляция Distillation	–	Изменение структуры водозабора с точки зрения размещения, сортировки, осаждения Modification of the intake structure of location, screening, sedimentation	–	–	–	Изменение системы водозабора, использование воды с различными температурами Modification of the intake, use of water with different temperatures	Деаэрация Deaeration O ₂ , CO ₂ , NH ₃	–	Изменение структуры ввода, сортировка, химическая обработка (Cl, CuSO ₄ и т. д.) Modification of the intake structure, screening, chemical treatment (Cl, CuSO ₄ , etc.)							
Замораживание Freezing out	–		–	–	–	Изменение структуры ввода Modification of the intake	–	–		–						
Электродиализ Electrodialysis	Фильтрация осадка Sedimentation filtration	Размягчение, подкисление Softening, acidulation	Адсорбция, окисление Adsorption, oxidization	Адсорбция Adsorption	–	–	–	Дезинфекция Desinfection	–							
Обратный осмос Reverse osmosis										–	–	–	–	–	–	–
Длительное изменение Lon exchange										–	–	–	–	–	–	–

Примечание. «+» – незначительные изменения; «++» – существенные изменения.
Note: "+" – slight changes; "++" – significant changes.

Таблица 4 / Table 4

Классификация возможных неблагоприятных характеристик опреснённых вод и основные меры по улучшению их питьевых качеств
Classification of possible adverse characteristics of desalinated waters and principal measures on improvement of their drinking qualities

Методы опреснения воды Methods of water desalination		Органолептические Organoleptic		Физические и химические Physical and chemical						Биологические Biological			токсикологические toxicological
		запах odor	вкус taste	температура temperature	коррозионная активность corrosion activity	состав взвеси sail composition	микроэлементы trace elements	органические вещества organic substances	микробиологические microbiological	физиологические physiological			
Основные возможные неблагоприятные характеристики опреснённой воды Major possible adverse characteristics of desalinated water													
Дистилляция Distillation		+	++	++	++	++	+	+	+	++	+	+	
Замораживание Freezing out		+	–	–	–	+	+	+	++	+	++	++	
Электродиализ Electrodialysis		++	+	++	–	+	++	++	++	+	++	++	
Обратный осмос Reverse osmosis		+	+	–	–	–	++	+	+	+	+	+	
Длительное изменение Lon exchange		+	+	–	–	+	++	++	++	+	++	++	
Меры по улучшению качества питьевой опреснённой воды Measures on the improvement of desalinated water drinking quality													
Дистилляция Distillation		Состав взвеси, коррекция, адсорбция Sail composition, correction, adsorption		Охлаждение Cooling	Стабилизация Stabilization	Состав взвеси, коррекция (разбавление, фильтрация, обогащение, внесение соли) Sail composition, correction (dilution filtration enrichment, Salt introduction)		–	Улучшение сорбции при выделении паров Vapour separation improvement sorption	Деаэрация Deaeration O ₂ , CO ₂ , NH ₃	Обеззараживание Decontamination	Коррекция солевого и микроэлементного состава Correction of salt and trace element composition	
Замораживание Freezing out		Дегазация, адсорбция Degasification, adsorption		–	–	Более высокая степень дегазации Higher degree ice washing-out, degasification		–	Отмывка, сорбция полимеров Polymers washing-off, sorption				
Электродиализ Electrodialysis		Отмывка, сорбция полимеров Polymers washing-off, sorption		Охлаждение Cooling	–	Сорбция, муцирующее действие, разбавление Sorption, flourin action, dilution		–					
Обратный осмос Reverse osmosis					–								
Длительное изменение Lon exchange					–								

Примечание. * – электродиализ при повышенной температуре; «+» – умеренное проявление; «++» – значительное проявление.
Note: * – electrodialysis at increased temperature; "+" – moderate manifestation; "++" – significant manifestation.



Рис. 9. Десятикорпусная опреснительная установка в г. Адене (Йеменская Республика).

Fig. 9. Ten-tank desalination plant in Aden (Republic of Yemen).

экспериментальных животных при меньшем содержании дейтерия в питьевой воде (25 вместо 150 мг/л) (рис. 11), подобные результаты были получены и в эксперименте с канцерогенным веществом диметилбензантраценом при более длительных наблюдениях (рис. 12).

В то же время в условиях проведённого нами длительного хронического эксперимента на крысах с использованием различных физиологических и биохимических методов исследования было показано, что дейтерий, как и лёгкий изотоп водорода (протий), имеет закономерности биологического действия, характерные для биогенных структурных и эссенциальных элементов, и, следовательно, обнаруживает параметры физиологической полноценности, когда его неблагоприятное действие проявляется не только при избыточном, но и при недостаточном содержании в воде (табл. 7).

Ещё одно научное направление было связано с изучением динамики молекулярно-кластерной структуры воды. Результаты экспериментальных исследований на белых мышах с продолжительностью жизни до 800 дней, на короткоживущих мышах и мышах с сахарным диабетом 2-го типа показали повышение плодовитости и значительное (более чем в два раза) увеличение продолжительности жизни этих животных при долевом ежедневном добавлении специально обработанной функциональной питьевой воды в обычный водно-пищевой рацион [10].

Многолетние исследования более 20 различных физических методов обработки воды позволили определить пять важных структурно-энергетических показателей качества питьевых вод, прошедших такую водоподготовку:

- *биокаталитическая активность* (концентрация $\text{HO}_2^{(*)}$, мг/л) — показатель степени электронной неравновесности, отвечающей за интенсивность колебательных и конформационных процессов в воде, биологических мембранах, белках и нуклеиновых кислотах, работу «клеточных насосов», транспорт везикул и пролиферативную активность клеток;
- *окислительно-восстановительный потенциал* (E_h , мВ) — показатель стабильности системы антиоксидантной защиты клеток, степени свободнорадикальной нагрузки на клеточные структуры и участие в запуске программы апоптоза клеток;
- *термодинамический показатель* (динамическая вязкость, μ , сантипуаз) — показатель, определяющий термодинамические и реологические свойства жидкости в организме, приток энергии гидратации белковых структур клеток и их способность к конформационной перестройке;
- *структурированность* (qsr., %) — показатель степени гидратации белков, устанавливающий эффективность электронного переноса и транспорта внутриклеточных метаболитов, активность ферментов и органелл клеток и активирующее действие на клеточный цикл;

Таблица 5 / Table 5

Сравнительная характеристика эффективности водоподготовки с использованием новых перспективных технологий
Comparison characteristics of water treatment efficiency using new advanced technologies

Загрязнение Contamination	Показатель Index	Очистка / Purification			Физические методы / Physical methods				Опреснение / Desalination			
		сорбционная Sorption	озонсорбционная Ozonesorption	высокочастотный разряд High-frequency discharge	низкочастотный разряд Low-frequency discharge	электрохимическая обработка Electrochemical treatment	МИО-излучение MIO-radiation	дистилляция Distillation	электролиз Electrodialysis	обратный осмос Reverse osmosis		
Органическое Organic	Тригалометаны Trihalomethanes	+	++	+	+	–	–	–	+	+		
	Пестициды (ХОС, ФОС) Pesticides (chloroorganic chemicals, phosphoorganic chemicals)	++	++	–	–	–	–	++	++	++		
	Фенолы / Phenols	++	++	+	++	+	–	–	++	++		
	Нефтепродукты / Oil-products	++	++	+	++	–	++	++	++	++		
	Полиароматические углеводороды Polyaromatic hydrocarbons	++	++	++	+	+	–	++	++	++		
	Синтетические поверхностно-активные вещества Synthetic surface-active substances	+	++	++	++	+	++	++	++	++		
Неорганическое Non-organic	Металлы I и II класса опасности Metals of the I and II danger classes	–	++	+	+	–	–	++	+	+		
	Металлы, влияющие на органолептические свойства The metals influencing upon the organoleptic properties	–	++	++	+	+	–	++	++	++		
	Азотсодержащие соединения Nitrogen containing chemicals NO ₂ , NO ₃	–	–	–	–	–	–	++	+	+		
	Солевой состав и микроэлементы В, Br, F Salt content and microelements B, Br, F	–	–	–	–	–	–	++	++	++		
	Радиохимическое Radiochemical	–	+	–	–	–	–	++	++	++		
Биологическое Biological	Объёмная α- и β-радиоактивность Volume alpha and beta radioactivity	–	+	–	–	–	–	++	++	++		
	Микробиологические Microbiological	–	++	++	++	++	++	++	++	++		
	Вирусологические Virusological	–	++	+	++	+	++	++	+	++		
	Паразитарное Parasitological	–	++	++	–	+	++	++	–	++		

Примечание. «+» – незначительные изменения; «++» – существенные изменения.
Note: "+" – slight changes; "++" – significant changes.

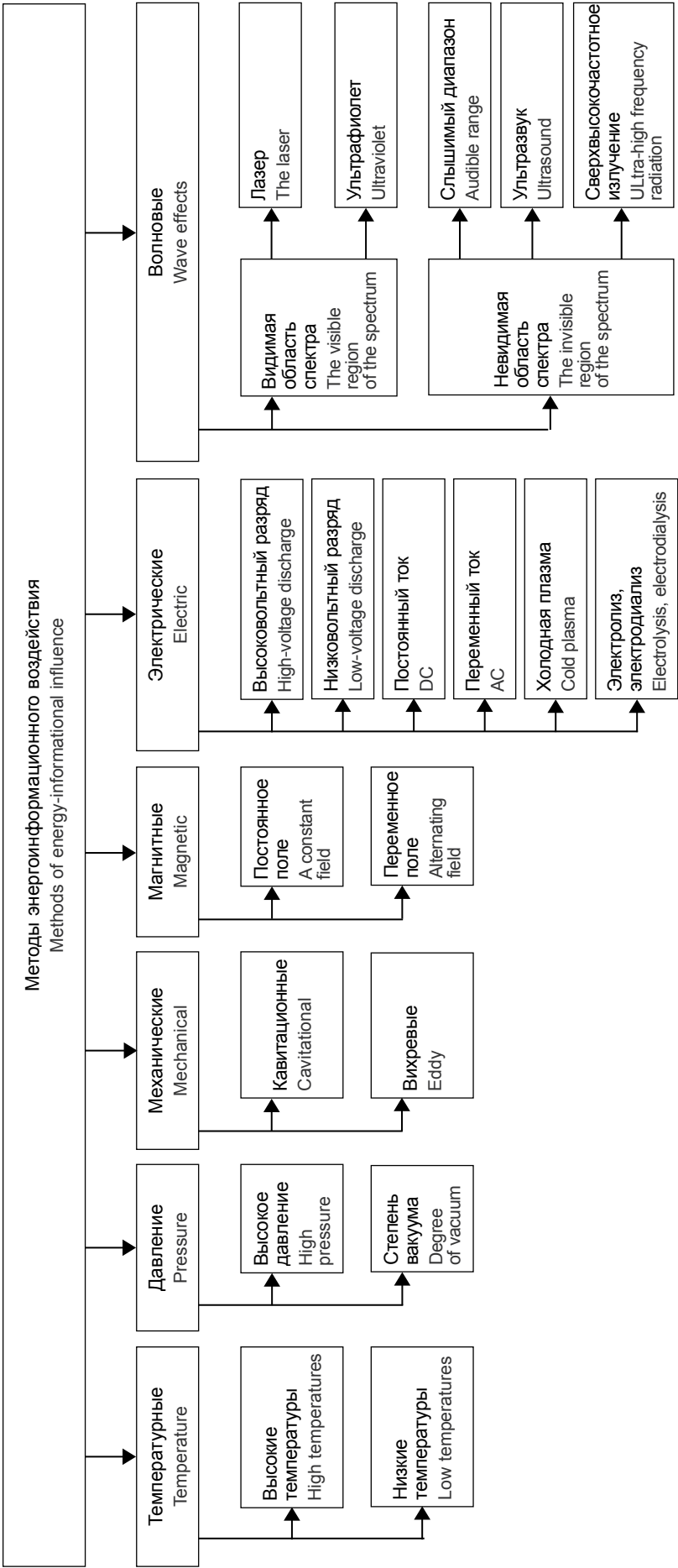


Рис. 10. Классификация методов энергоинформационного воздействия на воду.
Fig. 10. Classification of methods of energy-informational impact (AIV) water.

Таблица 6 / Table 6

Изотопные стандарты воды Isotopic standards of water	Показатель Index	Соотношение изотопов водорода дейтерий/протий (D/H), % Ratio of hydrogen isotopes deuterium/protium (D/H), %	Соотношение изотопов кислорода (кислород с атомарным весом 18 и 16 (¹⁸ O/ ¹⁶ O)), % Ratio of oxygen isotopes (oxygen with atomic weights of 18 and 16 (¹⁸ O/ ¹⁶ O)), %
SMOW – венский стандарт среднеокеанической воды / Vienna average oceanic water standard		155.76 ± 0.5 · 10 ⁻⁶	2005.2 ± 4.5 · 10 ⁻⁶
GISP – стандарт воды из гренландского льда / Greenland ice water standard		124.6 ± 0.5 · 10 ⁻⁶	–
SLAP – стандарт воды из антарктического льда / Antarctic ice water standard		90.5 ± 1.0 · 10 ⁻⁶	–
Организм человека / The human body		306.6 · 10 ⁻⁶	2236 · 10 ⁻⁶
Отклонение от стандарта Deviation from the standard		$\delta = (R_{\text{обр.}} / R_{\text{станд.}} - 1) \cdot 10^3 (\text{‰})$, где R – абсолютные значения отношения изотопов $\delta = (R_{\text{reated.}} / R_{\text{stand.}} - 1) \cdot 10^3 (\text{‰})$ where R – absolute values of isotopes ratio	

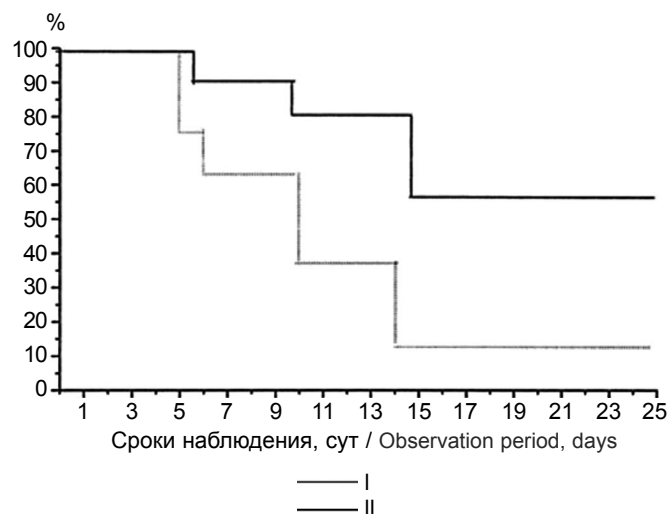


Рис. 11. Кривые выживаемости (%) мышей, получивших циклофосфан в дозе 510 мг/кг. Данные проф. Н.С. Сергеевой.

Fig. 11. Survival curves of mice treated with cyclophosphane at a dose of 510.0 mg/kg. Data from Prof. N.S. Sergeeva.

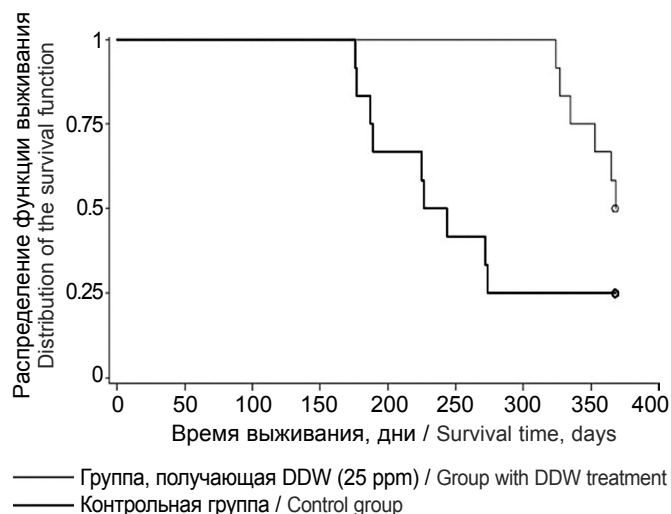


Рис. 12. Выживаемость мышей-самцов линии CBA/Ca после однократного введения ДМБА в дозе 20 мг/кг на фоне приёма обычной воды (150 ppm) и DDW (25 ppm) (8-недельные мыши, масса тела 20 ± 4 г, $n = 24$).

Fig. 12. Survival of male CBA/Ca mice after a single administration of DMBA at a dose of 20 mg/kg against the background of taking regular water (150 ppm) and DDW (25 ppm) (8 week old mice, weight 20 ± 4 g, $n = 24$).

Таблица 7 / Table 7

Достоверные показатели при потреблении вод с различным содержанием дейтерия

Reliable indicators for the consumption of waters with different deuterium content

Показатель Index	10 ppm	30 ppm	60 ppm	90 ppm	145 ppm	250 ppm	1000 ppm
ИА гепатоцитов Hepatocyte IA	—	↑	—	—	Контрольная группа Control group	—	↑
Число клеток РЭС в печени Number of liver RBC cells	↑	—	—	—		—	↑
Число микронекрозов гепатоцитов Number of hepatocyte micronecrosis	↑	—	—	—		—	—
Число высокоплоидных гепатоцитов Number of high-ploid hepatocytes	—	—	↓	↓		—	↑
ИА ядер эпителиоцитов почечных канальцев Renal tubule epithelial cell nucleus IA	—	—	—	—		—	↑
ИА почечных клубочков Renal glomerulus IA	↑	—	↓	↓		↑	↑
Пул IgG при иммунизации IgG pool during immunization	—	—	↑	↑		—	—
Пул IgA и IgM при иммунизации IgA and IgM pool during immunization	—	—	—	↑		—	—
Цитотоксический эффект Cytotoxic effect	↑	↑	—	—		↑	↑
Уровень клеток с кариопикнозом Level of cells with karyopyknosis	—	—	—	↓		—	—
Генотоксический эффект Genotoxic effect	↑	↑	—	—	Контрольная группа Control group	↑	↑
Необратимые формы эритроцитов Irreversible erythrocyte forms	↑	↑	↓	↓		—	↑
Концентрация малонового альдегида Concentration of malondialdehyde	—	—	—	↓		—	—
Глюкозурия Glucosuria	—	—	—	↓		—	—
β-липопротеиды β-lipoproteins	—	—	—	↓		—	—
Коэффициент атерогенности Atherogenic index	—	—	—	↓		—	—
Агрегация тромбоцитов Platelet aggregation	—	—	—	↓		—	—

Примечание. ↓ — статистически значимые различия (биологически положительный эффект); ↑ — статистически значимые различия (биологически отрицательный эффект); «—» — различия статистически недостоверны.

Note: ↓ — statistically significant differences (biologically positive effect); ↑ — statistically significant differences (biologically negative effect); "—" — the differences are not statistically significant.

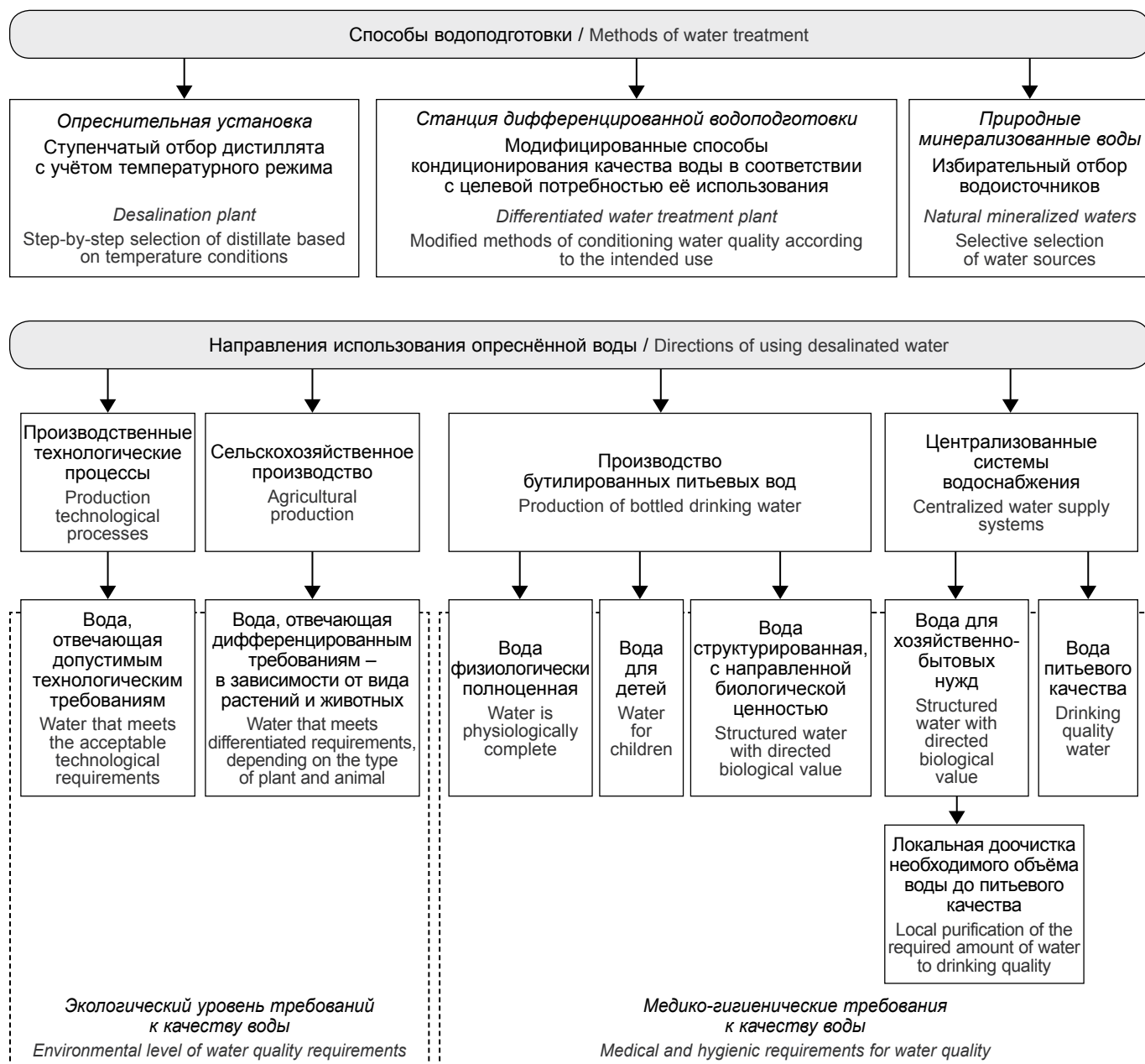


Рис. 13. Способы и направления использования опреснённых морских вод.

Fig. 13. Ways and directions of using desalinated sea water.

• *энергетическое распределение* структурированной фазы (доля состояний $\Delta(q_i)$, отн. ед.) – показатель направленности активирующего и регуляторного действия на работу внутриклеточных структур и селективной экспрессии оперонов ДНК, управляющих клеточным циклом и дифференцировкой клеток.

Основные результаты соответствующих экспериментальных исследований, выполненных самостоятельно и с участием специалистов более 10 ведущих государственных научных учреждений страны, представлены в пяти монографиях [11–15] и в нескольких десятках научных публикаций. Использование этих данных в практической деятельности позволяет применять опреснённые высокоминерализованные воды для различных целей в зависимости от алгоритма водоподготовки (рис. 13).

Заклучение

1. Без достаточного количества воды освоение и благоустройство аридных территорий невозможно. Обводнение территорий способно изменить их климат.

2. Коэффициент полезного действия тепловых и атомных электростанций в аридных регионах значительно повышается при включении в программы строительства опреснительных комплексов.

3. Внедрение современных технологий кондиционирования опреснённой воды позволяет дифференцированно получать воду как для сельскохозяйственных и хозяйственно-бытовых целей, так и соответствующую рекомендациям ВОЗ питьевую воду с улучшенными биологическими свойствами для поддержания активного здорового долголетия населения.

Литература

1. Sidorenko G.I., Rakhmanin Yu.A. Guidelines on health aspects of water desalination. ETS/80.4. Geneva: WHO; 1980.
2. Рахманин Ю.А. Гигиенические основы дистилляционного опреснения воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения: Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. М.; 1980.
3. Михайлова Р.И. Гигиенические основы кондиционирования качества и химического состава питьевых вод: Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. М.; 1999.
4. Sidorenko G.J., Rakhmanin Yu.A. Hygienic principles for the technology of the desalinated water production for the communal water supply and drinking. In: *Proceeding of the 6th International Symposium on the Fresh Water from the Sea. Volume 1*. Amsterdam; 1978: 65–74.
5. Sidorenko G.J., Rakhmanin Yu.A. Basic principles and scientific basis for hygienic requirements used in water desalination for municipal drinking water supply. In: *Proceeding of the 7th International Symposium on the Fresh Water from the Sea*. Amsterdam; 1980: 109–16.
6. Rakhmanin Yu.A. Evaluation of the biological effect of desalination drinking water of various levels of mineralization. A Report by the National Institute of Environment Health Sciences; 1979: 148–57.
7. Sidorenko G.I., Rakhmanin Y.A. Scientific basis for the study of demineralization of highly mineralized water for use in public water supply systems. *Environ. Health Perspect.* 1979; 30: 133–8. <https://doi.org/10.1289/ehp.7930133>
8. Донерьян Л.Г. Гигиеническая оценка глубокой доочистки хозяйственно-бытовых сточных вод в песчаных коллекторах для повторного использования в водоснабжении маловодных районов: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М.; 1990.
9. Тычинин В.Н. Гигиеническая оценка комплексного использования очищенных сточных вод в условиях аридной зоны: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. М.; 1990.
10. Zuev V.A., Postnov S.E., Vetrova Z.G., Shaposhnikova G.M., Zueva V.S. Influence of D 120 Solution on life span and fertility in mice. *Orig. Res. Paper Microbiol.* 2019; 9(8).
11. Рахманин Ю.А., Кондратов В.К., Михайлова Р.И., Стехин А.А., Яковлева Г.В. Вода — космическое явление: кооперативные свойства, биологическая активность. М.: РАЕН, РАМН; 2002.
12. Фаращук Н.Ф., Рахманин Ю.А. Вода-структурная основа адаптации. М.-Смоленск: РАМН; 2004. <https://elibrary.ru/qkqqbf>
13. Рахманин Ю.А., Стехин А.А., Яковлева Г.В. Биопизика воды: Квантовая нелокальность в технологиях водоподготовки, регуляторная роль ассоциированной воды в клеточном метаболизме, нормирование биоэнергетической активности питьевой воды. М.: Ленанд; 2016. <https://elibrary.ru/njxuec>
14. Стехин А.А., Яковлева Г.В. Квантовое поведение воды: Свойства электронной подсистемы ассоциатов воды. Электронный дефицит как фактор риска здоровью. М.: Ленанд; 2019. <https://elibrary.ru/wwwadv>
15. Стехин А.А., Яковлева Г.В., Рахманин Ю.А. Системный взгляд на долголетие: Водная парадигма жизни. М.: Ленанд; 2024.

References

1. Sidorenko G.I., Rakhmanin Yu.A. Guidelines on health aspects of water desalination. ETS/80.4. Geneva: WHO; 1980.
2. Rakhmanin Yu.A. *Hygienic principles of distillation desalination of water for domestic and drinking water supply*: Diss. Moscow; 1980. (in Russian)
3. Mikhailova R.I. *Hygienic principles of conditioning the quality and chemical composition of drinking water*: Diss. Moscow; 1999. (in Russian)
4. Sidorenko G.J., Rakhmanin Yu.A. Hygienic principles for the technology of the desalinated water production for the communal water supply and drinking. In: *Proceeding of the 6th International Symposium on the Fresh Water from the Sea. Volume 1*. Amsterdam; 1978: 65–74.
5. Sidorenko G.J., Rakhmanin Yu.A. Basic principles and scientific basis for hygienic requirements used in water desalination for municipal drinking water supply. In: *Proceeding of the 7th International Symposium on the Fresh Water from the Sea*. Amsterdam; 1980: 109–16.
6. Rakhmanin Yu.A. Evaluation of the biological effect of desalination drinking water of various levels of mineralization. A Report by the National Institute of Environment Health Sciences; 1979: 148–57.
7. Sidorenko G.I., Rakhmanin Y.A. Scientific basis for the study of demineralization of highly mineralized water for use in public water supply systems. *Environ. Health Perspect.* 1979; 30: 133–8. <https://doi.org/10.1289/ehp.7930133>
8. Doner'yan L.G. *Hygienic assessment of advanced treatment of domestic wastewater in sand filters for reuse in water supply of water-scarce regions*: Diss. Moscow; 1990. (in Russian)
9. Tyshinin V.N. *Hygienic assessment of the complex use of treated wastewater in arid zones*: Diss. Moscow; 1990. (in Russian)
10. Zuev V.A., Postnov S.E., Vetrova Z.G., Shaposhnikova G.M., Zueva V.S. Influence of D 120 Solution on life span and fertility in mice. *Orig. Res. Paper Microbiol.* 2019; 9(8).
11. Rakhmanin Yu.A., Kondratov V.K., Mikhailova R.I., Stekhin A.A., Yakovleva G.V. *Water — a Cosmic Phenomenon: Cooperative Properties, Biological Activity [Voda — kosmicheskoe yavlenie: kooperativnye svoystva, biologicheskaya aktivnost']*. Moscow: RAEN, RAMS; 2002. (in Russian)
12. Farashchuk N.F., Rakhmanin Yu.A. *Water — the Structural Basis of Adaptation [Voda-strukturnaya osnova adaptatsii]*. Moscow-Smolensk: RAMS; 2004. <https://elibrary.ru/qkqqbf> (in Russian)
13. Rakhmanin Yu.A., Stekhin A.A., Yakovleva G.V. *Biophysics of Water: Quantum Nonlocality in Water Treatment Technologies, the Regulatory Role of Associated Water in Cellular Metabolism, Regulation of the Bioenergetic Activity of Drinking Water [Biofizika vody: Kvantovaya neloikal'nost' v tekhnologiyakh vodopodgotovki, regul'yatornaya rol' assotsiirovannoi vody v kletochnom metabolizme, normirovanie bioenergeticheskoi aktivnosti pit'evoi vody]*. Moscow: Lenand; 2016. <https://elibrary.ru/njxuec> (in Russian)
14. Stekhin A.A., Yakovleva G.V. *Quantum Behavior of Water: Properties of the Electronic Subsystem of Water Associates. Electron Deficiency as a Health Risk Factor [Kvantovoe povedenie vody: Svoystva elektronnoi podsystemy assotsiatov vody. Elektronnyi defitsit kak faktor riska zdorov'yu]*. Moscow: Lenand; 2019. <https://elibrary.ru/wwwadv> (in Russian)
15. Stekhin A.A., Yakovleva G.V., Rakhmanin Yu.A. *A Systems View of Longevity: The Water Paradigm of Life [Sistemnyi vzglyad na dolgoletie: Vodnaya paradigma zhizni]*. Moscow: Lenand; 2024. (in Russian)

Сведения об авторе

Рахманин Юрий Анатольевич, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, гл. науч. сотр. ФГБУ «Центр стратегического планирования» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: awme@mail.ru

Information about the authors

Yuri A. Rakhmanin, DSc (Medicine), professor, academician of the RAS, Honored Scientist of the Russian Federation, chief researcher, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2067-8014> E-mail: awme@mail.ru