



ХИМИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 1. С. 4–13

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 1, pp. 4–13

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-1-4-13>

EDN: CKBHGF

Научная статья

УДК 543.062:628.1.033

Количественный химический анализ воды при применении мембранной фильтрации

О. В. Черникова¹✉, К. Е. Эм², А. В. Новиков²

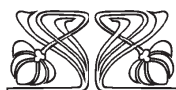
¹Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний, Россия, 390000, г. Рязань, ул. Сенная, д. 1

²Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, Россия, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1

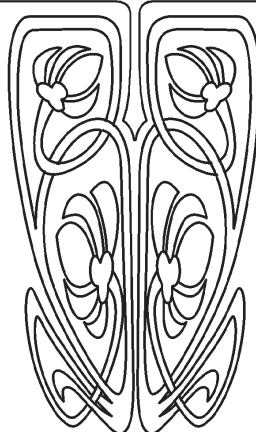
Черникова Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры тылового обеспечения уголовно-исполнительной системы, chernikova_olga@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4907-8760>

Эм Константин Евгеньевич, соискатель, emke@mntc.pro, <https://orcid.org/0009-0002-6484-8716>

Новиков Александр Валерьевич, аспирант, novik221299alex@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-5640-9141>



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ



Аннотация. Загрязнение воды представляет опасность для здоровья человека и, как следствие, возникает необходимость определения путей ее очистки. В данном исследовании проведен количественный химический анализ воды, отобранной из скважины и после ее прохождения через мембранную очистку (метод обратного осмоса) в период с 2019 по 2023 гг. Район исследования – г. Москва, пос. Московский. Определялись следующие физико-химические характеристики: запах, цветность, мутность, pH, жесткость общая, перманганатная окисляемость, массовая концентрация ионов аммония, железа общего (Fe^{2+} и Fe^{3+}), нитратов, нитритов, марганца, фторидов, хлоридов, сухого остатка, сульфатов, анионных поверхностно-активных веществ, нефтепродуктов. Полученные результаты показали эффективность применения мембранной очистки воды. Снизился градус цветности. Мутность, которая превышала нормативные показатели (7,7 ед. по формазину), стала в пределах нормы – 2,1 (ед. по формазину). Значения сухого остатка и перманганатной окисляемости существенно не изменились, данные показатели были в пределах допустимых значений в исходных пробах воды. Высокое содержание железа, превышающее ПДК, снизилось до допустимых значений (от 0,882 до 0,188 мг/дм³ в среднем за период исследований при ПДК 0,3 мг/дм³). Метод позволяет снизить повышенное содержание марганца (с 0,19 до 0,03 мг/дм³ при ПДК 0,1 мг/дм³) и нефтепродуктов (с 0,16 до 0,06 мг/дм³ при ПДК 0,1 мг/дм³), а также ионов NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , F^- , Cl^- , SO_4^{2-} и ПАВ.

Ключевые слова: количественный анализ, вода, мембранная очистка, качество

Для цитирования: Черникова О. В., Эм К. Е., Новиков А. В. Количественный химический анализ воды при применении мембранной фильтрации // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 1. С. 4–13. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-1-4-13>, EDN: CKBHGF

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)



Article

Quantitative chemical analysis of water in the application of membrane filtration

O. V. Chernikova¹✉, K. E. Em², A. V. Novikov²

¹The Academy of the FPS of Russia, 1 Sennaya St., Ryazan 390000, Russia

²Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev, 1 Kostychev St., Ryazan 390044, Russia

Olga V. Chernikova, chernikova_olga@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4907-8760>

Konstantin E. Em, emke@mntc.pro, <https://orcid.org/0009-0002-6484-8716>

Aleksander V. Novikov, novik221299alex@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-5640-9141>

Abstract. Water pollution poses a danger to human health and, as a result, there is a need to identify ways to clean it. In this study, a quantitative chemical analysis of water taken from the well and after its passage through membrane purification (reverse osmosis method) was carried out in the period from 2019 to 2023. The research area is Moscow, Moskovsky settlement. The following physico-chemical characteristics were determined: odor, color, turbidity, pH, total hardness, permanganate oxidizability, mass concentration of ammonium ions, total iron (Fe^{2+} and Fe^{3+}), nitrates, nitrites, manganese, fluorides, chlorides, dry residue, sulfates, anionic surfactants, petroleum products. The results obtained have shown the effectiveness of the use of membrane water purification. The color has decreased. The turbidity, which exceeded the normative indicators (7.7), became within the normal range – 2.1. The values of the dry residue and permanganate oxidizability did not change significantly, their values were within acceptable values in the initial water samples. The high iron content exceeding the MPC decreased to acceptable values (from 0.882 to 0.188 mg/dm³ on average during the study period at a MPC of 0.3 mg/dm³). The method allows to reduce the increased content of manganese (from 0.19 to 0.03 mg/dm³ at MPC 0.1 mg/dm³) and petroleum products (from 0.16 to 0.06 mg/dm³ at MPC 0.1 mg/dm³), as well as ions NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , F^- , Cl^- , SO_4^{2-} and surfactants.

Keywords: quantitative analysis, water, membrane purification, quality

For citation: Chernikova O. V., Em K. E., Novikov A. V. Quantitative chemical analysis of water in the application of membrane filtration. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 1, pp. 4–13 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-1-4-13>, EDN: CKBHGF

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Качество воды – глобальная экологическая проблема современного человечества, так как она является одним из ключевых факторов здоровья человека. Практически все источники поступления воды подвергаются антропогенному воздействию разной интенсивности. Проблема качества воды актуальна как в глобальном масштабе, так и в рамках отдельно взятого региона или населенного пункта [1].

Питьевая вода – вода, отвечающая по своему качеству в естественном состоянии или после обработки (очистки, обеззараживания) установленным нормативным требованиям и предназначенная для питьевых и бытовых нужд человека либо для производства пищевой продукции. Речь идет о требованиях к совокупности свойств и состава воды, при которых она не оказывает неблагоприятного влияния на здоровье человека как при употреблении внутрь, так и при использовании в гигиенических целях, а также при производстве пищевой продукции [2].

Качественная питьевая вода – это вода, не содержащая примесей, вредных для здоровья человека. Она должна быть без запаха и цвета,

и безопасна при длительном ее употреблении. В соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями население должно обеспечиваться питьевой водой в приоритетном порядке в количестве, достаточном для удовлетворения физиологических и бытовых потребностей, также питьевая вода должна быть безопасной в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредна по составу и иметь благоприятные органолептические и гидрохимические показатели [3].

Существуют основные показатели качества питьевой воды. Их условно можно разделить на группы: органолептические показатели; токсикологические показатели; показатели, влияющие на органолептические свойства воды; химические вещества, образующиеся при обработке воды; микробиологические показатели [4].

При употреблении для питья воды с содержанием железа выше норматива человек рискует приобрести различные заболевания печени, аллергические реакции, др. Повышенное содержание марганца в воде оказывает мутагенное действие на человека. Иногда в питьевой воде встречается много солей соляной и серной кис-



лот (хлориды и сульфаты). Употребление такой воды приводит к нарушению деятельности желудочно-кишечного тракта. Данные факты говорят о необходимости постоянного мониторинга содержания различных компонентов в питьевой воде [5].

Очистка воды с использованием современных технологий является дорогостоящей и энергоемкой; существует настоятельная необходимость в исследованиях для выявления новых подходов к очистке воды с меньшими затратами энергии и минимизацией воздействия на окружающую среду. Мембранные технологии доказали свою эффективность при очистке воды за десятилетия продуктивного использования, являются одними из современных достижений, которые успешно позволяют существенно снизить содержание примесей до допустимого уровня [6–8]. Мембранные процессы обладают неоспоримыми преимуществами, включая высокое качество воды при простоте обслуживания, стационарные части с компактной модульной конструкцией, низкий уровень выбросов химического шлама и превосходную эффективность разделения [9–12].

Благодаря недавним инновациям в области как аналитических, так и производственных инструментов, более совершенные мембранные технологии находят применение во множестве направлений для очистки воды [13, 14].

Цель исследования – выполнить количественный химический анализ питьевой воды при использовании мембранных технологий, оценить показатели ее качества.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись химические и физические показатели качества питьевой воды, до и после использования мембранных фильтров в период с 2019 по 2023 г. Применялся мембранный метод очистки воды – обратный осмос, который заключается в фильтрации воды под давлением, превышающим осмотическое, через полупроницаемую мембрану. Давление необходимо для преодоления явления осмоса, при котором система уравнивается, и вода перестает фильтроваться, так как концентрация загрязняющих веществ выравнивается. Для фильтров обратного осмоса использованы коммерческие полупроницаемые мембраны РМ-Нанотех (Россия), состоящие из тонкопленочного

композитного полиамида, имеющие высокую селективность к широкому спектру примесей.

При проведении количественного химического анализа учитывали следующие показатели, определяющие качество питьевой воды:

- запах при 20° С, балл (ГОСТ Р 57164-2016) [15];

- запах при 60° С, балл (ГОСТ Р 57164-2016) [15];

- цветность, градус цветности (ПНД Ф 14.1:2:4.207-04) [16];

- мутность, ЕМФ (ПНД Ф 14.1:2:3:4.213-05) [17];

- водородный показатель (рН), ед.рН (ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97) [18];

- жесткость общая, °Ж (ГОСТ 31954-2012, метод А) [19];

- перманганатная окисляемость, мг/дм³ (ПНД Ф 14.1:2:4.154-99) [20];

- массовая концентрация ионов аммония, мг/дм³ (ГОСТ 33045-2014, метод А) [21];

- массовая концентрация железа общего (Fe²⁺ и Fe³⁺), мг/дм³ (ПНД Ф 14.1:2:4.50-96) [22];

- массовая концентрация нитратов, мг/дм³ (ПНД Ф 14.1:2:4.4-95) [23];

- массовая концентрация нитритов, мг/дм³ (ПНД Ф 14.1:2:4.3-95) [24];

- массовая концентрация марганца, мг/дм³ (ПНД Ф 14.1:2:4.214-06) [25];

- массовая концентрация фторидов, мг/дм³ (ГОСТ 4386-89, пункт 3) [26];

- массовая концентрация хлоридов, мг/дм³ (ГОСТ 4245-72) [27];

- массовая концентрация сухого остатка, мг/дм³ (ПНД Ф 14.1:2:4.114-97) [28];

- массовая концентрация сульфатов, мг/дм³ (ГОСТ 31940-2012, метод 2) [29];

- массовая концентрация анионных поверхностно-активных веществ, мг/дм³ (ПНД Ф 14.1:2:4.158-2000) [30];

- массовая концентрация нефтепродуктов, мг/дм³ (ПНД Ф 14.1:2:4.128-98) [31].

Пробы воды отбирали согласно ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб» [32]. Пробы доставляли для проведения анализа сразу после отбора в контейнерах со льдом с целью предотвращения изменений качественного и количественного состава воды. Объем пробы составлял 5 л. Отбирали пробы воды ручными пробоотборниками.

При проведении исследований применяли поверенные приборы: фотометр фотоэлектрический КФК-3-01 ЗОМЗ; весы лабораторные



электронные РА214С; рН-метр рН-150МИ; спектрометр атомно-абсорбционный «Квант-2м»; электрод ионоселективный ЭЛИС-131F; анализатор жидкости Флюорат-02-2М; анализатор вольтамперометрический ТА-Lab.

Обработку результатов проведенных исследований выполняли в программе LIMS myLab. Данное программное обеспечение рассчитывало предел повторяемости, предел воспроизводимости, неопределенность и другие характеристики для каждого показателя в анализируемых пробах воды. Число параллельных опытов – 2, с доверительной вероятностью 0,95.

Результаты и их обсуждение

При определении чистоты воды оперируют такими физическими свойствами, как мутность, цвет, запах.

Мутность – показатель содержания в воде различных взвешенных веществ (минерального происхождения – частиц глины, песка, ила; неорганического происхождения – карбона-

тов различных металлов, гидроокиси железа; органического происхождения – планктона, водорослей и др.).

Цветность воды – показатель, характеризующий интенсивность окраски воды. Он измеряется в градусах по платиново-кобальтовой шкале, при этом исследуемая проба воды сравнивается по окраске с эталонными растворами. Цветность воды обуславливается присутствием в ней примесей как органической, так и неорганической природы.

Для чистой воды характерными являются следующие показатели: мутность не более 2,5 ЕМФ (единиц мутности по формазину), отсутствие запаха (в лабораторных условиях показателем является интенсивность запаха), цветность – не более 20 градусов Pt-Co шкалы. Проведенный сравнительный анализ образцов с 2019 по 2023 г. показал, что цветность соответствовала установленным нормам и находилась в пределах 9,3 градуса до применения мембранной очистки и 4,3 градуса после ее применения в среднем за исследуемый период (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Химические и физические показатели воды до и после применения мембранного фильтра в среднем за 2019–2023 гг.

Chemical and physical parameters of water before and after the application of the membrane filter on average for 2019–2023

Показатель / Indicator	Вода из скважины / Water from the well	Вода после очистки / Water after purification	Норма / Norm
Цветность / Chroma	9±3	4±1	20(35)
Мутность / Turbidity	8±1	2,1±0,2	2,6(3,5)
рН (ед. рН) / рН	7,8±0,2	7,7±0,2	в пределах 6–9
Перманганатная окисляемость (мг/дм ³) / Permanganate oxidizability (mg/dm ³)	1,4±0,1	1,6±0,1	5
Жесткость общая (°Ж) / Total hardness (°J)	6,1±0,4	7,0±0,4	7(10)
Сухой остаток (мг/дм ³) / Dry residue (mg/dm ³)	0,42±0,03	0,38±0,03	1

Показатель мутности воды из скважины превышал допустимые значения в два раза и составлял 7,7 ед. по формазину в среднем за пять лет исследований. После применения мембранной технологии он снижался и достигал значений 2,1 ед. по формазину, что соответствовало нормативным показателям.

Сухой остаток (общая минерализация) – количественный показатель растворенных в 1 л воды веществ (неорганических солей, органических веществ, кроме газов). Данный показатель также называют общим солесодер-

жанием, получаемым в результате выпаривания профильтрованной воды и высушивании задержанного остатка до постоянной массы. Российскими нормативами допускается минерализация воды, сухой остаток для питьевой воды не должен превышать 1000 мг/дм³. Данные отбора проб показали, что сухой остаток до и после применения обратного осмоса находился в допустимых значениях и составлял 416 и 378 мг/дм³ соответственно.

Активная реакция воды определяется соотношением существующих в ней кислых (во-



дородных) и щелочных (гидроксильных) ионов. При ее характеристике пользуются рН. Нормы СанПиН 2.1.3685-21 требуют, чтобы значение рН питьевой воды находилось в пределах 6,0–9,0, что соответствовало образцам наших проб.

Окисляемость перманганатная – параметр, обусловленный присутствием в воде легко-окисляемых органических веществ; отчасти он может сигнализировать о загрязнённости источника сточными водами. По требованиям СанПиН: величина перманганатной окисляемости воды не должна превышать 5,0 мг O_2 /л. Вода с перманганатной окисляемостью менее 5 мг O_2 /л считается чистой, что можно сказать о воде, отобранной и из скважины, и после применения обратного осмоса.

Жесткость воды – показатель, характеризующий содержание в воде солей жесткости (главным образом кальция и магния), по нормам СанПиН 2.1.3684-21 не должна превышать 7,0 мг-экв/л. Представленные образцы соответствуют данным требованиям.

Важно проведение анализа на содержание железа в водах. На концентрацию железа в воде влияют величина рН и содержание кислорода в воде. В колодезной и скважинной воде железо может находиться в окисленной и в восстановленной форме, однако при отстаивании воды оно всегда окисляется и может выпадать в осадок. СанПиН 2.1.3684-21 допускают общее содержание железа не более 0,3 мг/л (рис. 1).

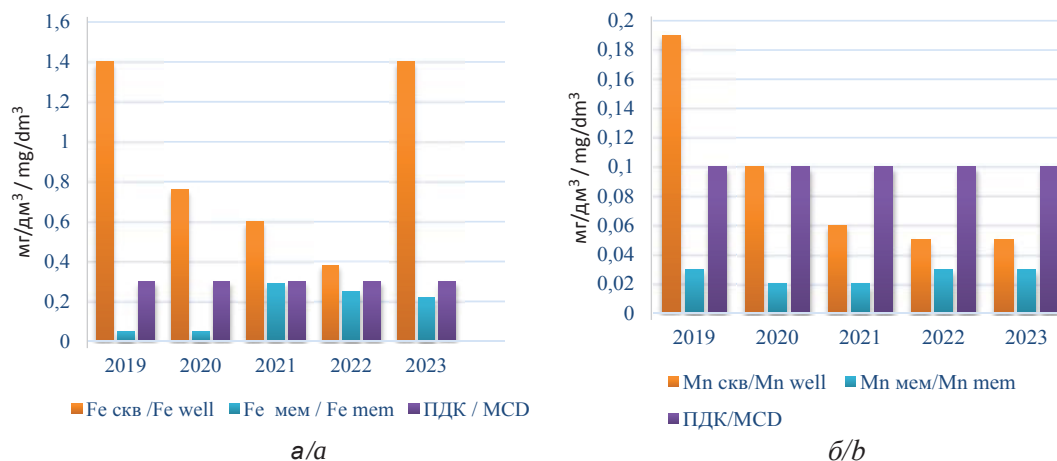


Рис. 1. Содержание общего железа (а) и марганца (б) в пробах воды (цвет онлайн)

Fig. 1. Total iron (a) and manganese (b) content in water samples (color online)

Считается, что железо не токсично для человеческого организма, однако при длительном употреблении воды с избыточным содержанием железа может произойти отложение его соединений в тканях и органах человека. Полученные данные свидетельствуют об избыточном содержании железа в природной воде (см. рис. 1). Его концентрация превышала ПДК ежегодно в 1,5–4 раза (от 0,38 до 1,4 мг/дм³).

Применение технологии обратного осмоса позволило снизить концентрацию железа и привести его к нормативным показателям: ПДК не должно превышать 0,3 мг/дм³. После очистки его содержание колебалось от 0,05 до 0,29 мг/дм³.

Марганец – это металл, активизирующий ряд ферментов, участвующий в процессах дыхания, фотосинтеза, влияющий на кроветворение

и минеральный обмен. Нормы СанПиН 2.1.3684-21 допускают содержание марганца в питьевой воде не более 0,1 мг/дм³.

Переизбыток марганца в воде может вызвать заболевание костной системы человека. Такая вода имеет неприятный металлический привкус. Ее длительное употребление приводит к отложению марганца в печени. Согласно полученным данным содержание марганца в природной воде было в пределах допустимой концентрации, за исключением 2019 г., и на грани ПДК в 2020 г. Применение мембранной технологии позволило снизить и привести концентрацию марганца до допустимых показателей.

ПДК хлоридов в питьевой воде равняется 300 мг/дм³. Повышенное содержание хлоридов с одновременным присутствием в воде



нитритов, нитратов и аммиака встречается в случае загрязненности источника бытовыми сточными водами. Данные табл. 2 показывают, что содержание хлорида как в воде из скважины, так и после мембранной очистки

соответствует требованиям и случаев превышения показателей не наблюдалось за весь период исследований. Содержание хлоридов составляло 17,9 и 11,4 мг/дм³ соответственно (см. табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Ионный состав воды (мг/дм³) до и после применения мембранной очистки в среднем за 2019–2023 гг.
Ionic composition of water (mg/dm³) before and after the application of membrane cleaning on average for 2019–2023

Ион / Ion	Вода из скважины / Water from the well	Вода после очистки / Water after purification	ПДК / MPC
NH ₄ ⁺	<0,05	<0,01	2,6
NO ₃ ⁻	1,1±0,1	0,52±0,07	45
NO ₂ ⁻	0,57±0,01	0,050±0,003	3,0
F ⁻	<0,19	<0,19	1,5
Cl ⁻	18±3	11±2	350
SO ₄ ²⁻	50±5	25±4	500

При избыточном содержании сульфатов в воде у человека возникает расстройство желудочно-кишечного тракта (эти соли обладают слабящим эффектом) (ПДК 500 мг/дм³). Содержание фтора в питьевой воде для сохранения здоровья человека должно находиться в пределах 1,5 мг/дм³. При повышенном содержании фтора в воде (более 1,5 мг/дм³) появляется опасность развития у населения эндемического флюороза, рахита и малокровия. Поэтому в питьевой воде содержание фтора лимитируется. Содержание сульфатов и фторидов в исследуемых образцах не превышало предельно допустимых значений и после прохождения воды через систему обратного осмоса способствовало уменьшению концентрации сульфатов в два раза – с 50 до 25 мг/дм³.

Наличие нитритов NO₂⁻, нитратов NO₃⁻ и аммонийных солей NH₄⁺ свидетельствует о том, что в воде имеются органические вещества животного происхождения. Рассматриваемая группа ионов находится в тесной взаимосвязи. Нитриты – лучший показатель свежего фекального загрязнения воды, особенно, если одновременно повышено содержание аммиака и нитритов. Нитраты – показатель более давнего органического фекального загрязнения воды. ПДК в воде: аммоний – 2,0 мг/дм³; нитриты – 3,0 мг/л; нитраты – 45,0 мг/л. Концентрация данных ионов в отобранных образцах была

ниже ПДК в 260 раз NH₄⁺, в 86 раз – NO₃⁻, в 600 – NO₂⁻, что свидетельствует о чистоте исследуемых источников воды.

Нефтепродукты в воде являются опасными веществами, которые негативно влияют на здоровье человека и экологию в целом. Употребление питьевой воды, в которой содержатся нефтепродукты, грозит развитием рака внутренних органов, болезней пищеварительной и эндокринной систем, заболеваний полости рта и гортани. Суммарное количество нефтепродуктов в питьевой воде не должно превышать 0,1 мг/дм³. Содержание нефтепродуктов в исследуемых образцах воды из скважины не превышало ПДК, за исключением 2020 г. После применения системы обратного осмоса их концентрация уменьшалась и находилась в пределах нормы – от 0,02 до 0,06 мг/дм³ (рис. 2).

Среди многообразных загрязнений воды, включая сточную воду, особое место занимают поверхностно-активные вещества (ПАВ). Токсичное действие анионных ПАВ (АПАВ) зависит от способности нарушать проницаемость биологических мембран эритроцитов, миелиновых оболочек нервов и эпителия кишечника. В связи с этим ПАВ вызывают сдвиги в центральной нервной системе, системе крови, желудочно-кишечном тракте, выделительной системе – поражают печень и почки.

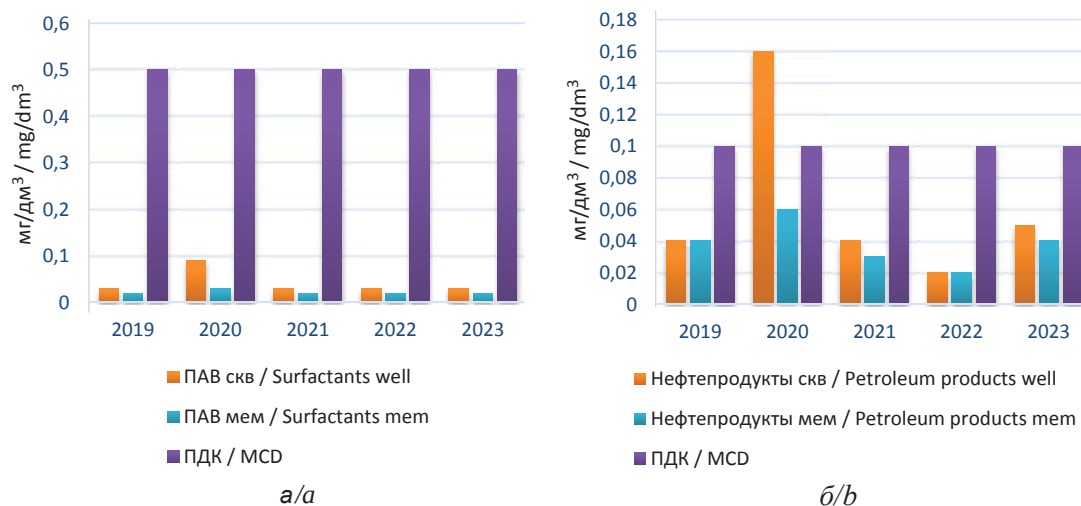


Рис. 2. Содержание поверхностно-активных веществ (а) и нефтепродуктов (б) в пробах воды, (цвет онлайн)

Fig. 2. The content of surfactants (a) and petroleum products (b) in water samples, (color online)

Предельно допустимые концентрации АПАВ в питьевой воде $0,5 \text{ мг/дм}^3$. Полученные данные с 2019 по 2023 г. свидетельствуют о том, что концентрация ПАВ в воде была значительно ниже предельно-допустимой концентрации и до очистки составляла $0,03\text{--}0,09 \text{ мг/дм}^3$, а после – $0,02\text{--}0,03 \text{ мг/дм}^3$.

Выводы

Проблема улучшения качества питьевой водой имеет общегосударственное значение и требует комплексного решения. Данное исследование, направленное на изучение количественного химического состава воды до и после применения мембранной технологии, показало, что данный метод способствует улучшению химических и физических показателей. Эффективно снижается массовая концентрация железа, марганца, нефтепродуктов, что приводит к повышению качества воды и дает возможность использовать ее для питьевых нужд.

Список литературы

1. Мареев И. А. Качество питьевой воды как глобальная экологическая проблема // Молодой ученый. 2020. № 50 (340). С. 402–403. URL: <https://moluch.ru/archive/340/76555> (дата обращения: 17.08.2024).
2. Зайцева Н. В., Сбоев А. С., Клейн С. В., Вековщина С. А. Качество питьевой воды: факторы риска для здоровья населения и эффективность контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора //

Анализ риска здоровью. 2019. № 2. С. 44–55. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.2.05>

3. Пономарева Д. Н., Тимшина Д. И., Рязанова Е. А. Оценка качества воды источников централизованного питьевого водоснабжения в Кировской области // Международный студенческий научный вестник. 2020. № 5. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=20294> (дата обращения: 17.08.2024).
4. Васильева М. В., Натарева А. А. Оценка качества централизованного питьевого водоснабжения в Воронежской области // Биологические науки. 2016. № 7. С. 29–33.
5. Шабанова С. В., Баширов В. Д., Сагитов Р. Ф., Смирнов В. Г., Голофаева А., Сердюкова Е., Угленков А. Исследование качества питьевой воды г. Оренбурга по некоторым химическим показателям // Международный журнал экспериментального образования. 2014. № 8, ч. 2. С. 70–74.
6. Ezugbe E., Rathilal S. Membrane technologies in wastewater treatment: A review // Membranes. 2020. Vol. 10, № 5. P. 89. <https://doi.org/10.3390/membranes10050089>
7. Bera S. P., Godhaniya M., Kothari C. Emerging and advanced membrane technology for wastewater treatment: A review // J. Basic. Microbiol. 2022. Vol. 62, № 3-4. P. 245–259. <https://doi.org/10.1002/jobm.202100259>
8. Jafarinejad S. Forward osmosis membrane technology for nutrient removal/recovery from wastewater: Recent advances, proposed designs, and future directions // Chemosphere. 2021. Vol. 263. Article number 128116. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128116>
9. Хорохорина И. В., Козачек А. В., Сухова А. О., Филимонова О. С., Долгова О. В., Лазарев С. И. Экологические мембранные технологии в водоочистке и водоподготовке : учебное пособие. Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. 145 с.



10. Шуленина З. М., Багров В. В. Вода техногенная. Проблемы, технологии, ресурсная ценность. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. 401 с.
11. Первов А. Г., Андрианов А. П., Ефремов Р. В., Козлова Ю. В. Новые тенденции в разработке современных нанофильтрационных систем для подготовки питьевой воды высокого качества : обзор // Мембраны. Серия Критические технологии. 2005. Т. 1, № 25. С. 18–34.
12. Бурак Л. Ч., Писарик М. И. Эффективность очистки воды мембранной фильтрацией // Научное обозрение. Технические науки. 2023. № 1. С. 37–43. <https://doi.org/10.17513/srts.1425>
13. Свитцов А. А. Мембранные технологии в России // The Chemical Journal. Химический журнал. 2010. № 10. Р. 22–26.
14. Kilgus M., Gepert V., Dinges N., Merten C., Eigenberger G., Schiestel T. Palladium coated ceramic hollow fibre membranes for hydrogen separation // Desalination. 2006. Vol. 200, iss. 1–3. Р. 95–96.
15. ГОСТ Р 57164-2016 «Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности». М. : Стандартинформ, 2019. 18 с.
16. ПНД Ф 14.1:2:4.207-04. Количественный химический анализ вод «Методика выполнения измерений цветности питьевых, природных и сточных вод фотометрическим методом». ФГУ «ФЦАМ МПР России», 2004. URL: <https://gostassistant.ru/doc/cc3bc506-ce14-4dce-98f5-cdcdfd3801b7>
17. ПНД Ф 14.1:2:3:4.213-05. Количественный химический анализ вод «Методика измерений мутности проб питьевых, природных поверхностных, природных подземных и сточных вод турбидиметрическим методом по каолину и по формазину». ФГБУ «ФЦАО», 2019. URL: <https://gostassistant.ru/doc/89e8bb2c-a767-4e45-b542-0219e41ee579>
18. ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Количественный химический анализ вод «Методика измерений pH проб вод потенциометрическим методом». ФГБУ «ФЦАО», 2016. URL: <https://gostassistant.ru/doc/1ac57a48-649b-45a2-af98-1fde3b1b254b>
19. ГОСТ 31954-2012 «Вода питьевая. Методы определения жесткости». М. : Стандартинформ, 2018. 18 с.
20. ПНД Ф 14.1:2:4.154-99 Количественный химический анализ вод «Методика измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых, природных и сточных вод титриметрическим методом». ФБУ «ФЦАО», 2012. URL: <https://gostassistant.ru/doc/7ffa2364-44d6-45bd-a295-222848f49a69>
21. ГОСТ 33045-2014 «Вода. Методы определения азотсодержащих веществ». М. : Стандартинформ, 2019. 20 с.
22. ПНД Ф 14.1:2:4.50-96 Количественный химический анализ вод «Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой». ФГБУ «ФЦАО», 2019. URL: <https://gostassistant.ru/doc/4f84d71d-91d6-4e13-bdde-517fc8bdd4f2>
23. ПНД Ф 14.1:2:4.4-95 Количественный химический анализ вод «Методика измерений массовой концентрации нитрат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой». ФБУ «ФЦАО», 2019. URL: <https://gostassistant.ru/doc/04554e2e-4f1c-4aea-bf34-c1a7c1847e7e>
24. ПНД Ф 14.1:2:4.3-95 Количественный химический анализ вод «Методика измерений массовой концентрации нитрит-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса». ФБУ «ФЦАО», 2011. URL: <https://gostassistant.ru/doc/e35687b8-cd26-47b4-b031-b848f15e5290>
25. ПНД Ф 14.1:2:4.214-06 Количественный химический анализ вод «Методика измерений массовых концентраций железа, кадмия, кобальта, марганца, никеля, меди, цинка, хрома и свинца в питьевых, поверхностных и сточных водах методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии». ФБУ «ФЦАО», 2011. URL: <https://gostassistant.ru/doc/bb2ada6d-ae47-42ee-808e-60c9f72689d0>
26. ГОСТ 4386-89 «Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации фторидов». М. : Издательство стандартов, 1990. 11 с.
27. ГОСТ 4245-72 «Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов». М. : Издательство стандартов, 1976. 6 с.
28. ПНД Ф 14.1:2.114-97 Количественный химический анализ вод «Методика выполнения измерений массовой концентрации сухого остатка в пробах природных и очищенных сточных вод гравиметрическим методом». ФГУ «ФЦАО», 2004. URL: <https://gostassistant.ru/doc/aacfc642-81e9-4bf1-90b1-924e9e0f1953>
29. ГОСТ 31940-2012 «Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов». М. : Стандартинформ, 2019. 20 с.
30. ПНД Ф 14.1:2:4.158-2000 Количественный химический анализ вод. «Методика выполнения измерений массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ) в пробах природной, питьевой и сточной воды флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». ФБУ «ФЦАО», 2004. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293808/4293808613.htm>
31. ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 Количественный химический анализ вод «Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02» (М 01-05-2012)». ФБУ «ФЦАО», 2018. URL: <https://gostassistant.ru/doc/27e13e29-2e37-41ed-8e0d-7910f783686a>
32. ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб». М. : Российский институт стандартизации, 2023. 40 с.



References

1. Mareev I. A. Drinking water quality as a global environmental problem. *Young Scientist*, 2020, no. 50 (340), pp. 402–403 (in Russian). Available at: <https://moluch.ru/archive/34076555> (accessed August 17, 2024).
2. Zaitseva N. V., Glitchev A. S., Klein S. V., Vekovshinina S. A. Drinking water quality: Risk factors for public health and the effectiveness of control and supervisory activities of Rospotrebnadzor. *Health Risk Analysis*, 2019, no. 2, pp. 44–55 (in Russian). <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.2.05>
3. Ponomareva D. N., Timshina D. I., Ryazanova E. A. Assessment of water quality of centralized water sources drinking water supply in the Kirov region. *International Student Scientific Bulletin*, 2020, no. 5 (in Russian). Available at: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=20294> (accessed August 17, 2024).
4. Vasilyeva M. V., Natarova A. A. Quality assessment of centralized drinking water supply in Voronezh region. *Biological Sciences*, 2016, no. 7, pp. 29–33 (in Russian).
5. Shabanova S. V., Bashirov V. D., Sagitov R. F., Smirnov V. G., Golofaeva A., Serdyukova E., Uglenkov A. Investigation of the quality of drinking water in Orenburg according to some chemical indicators. *International Journal of Experimental Education*, 2014, no. 8, part 2, pp. 70–74 (in Russian).
6. Ezugbe E., Rathilal S. Membrane technologies in wastewater treatment: A review. *Membranes*, 2020, vol. 10, no. 5, pp. 89. <https://doi.org/10.3390/membranes10050089>
7. Bera S. P., Godhaniya M., Kothari C. Emerging and advanced membrane technology for wastewater treatment: A review. *J. Basic. Microbiol.*, 2022, vol. 62, no. 3-4, pp. 245–259. <https://doi.org/10.1002/jobm.202100259>
8. Jafarinejad S. Forward osmosis membrane technology for nutrient removal/recovery from wastewater: Recent advances, proposed designs, and future directions. *Chemosphere*, 2021, vol. 263, article 128116. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128116>
9. Khorokhorina I. V., Kozachek A. V., Sukhova A. O., Filimonova O. S., Dolgova O. V., Lazarev S. I. *Ekologicheskiye membrannyye tekhnologii v vodoochistke i vodopodgotovke: uchebnoye posobiye* [Ecological membrane technologies in water treatment and water treatment: Textbook]. Tambov, Publishing center of FGBOU VO “TSTU”, 2023. 145 p. (in Russian).
10. Shulenina Z. M., Bagrov V. V. *Voda tekhnogennaya. Problemy, tekhnologii, resursnaya tsennost'* [Technogenic water. Problems, technologies, resource value]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2015. 401 p. (in Russian).
11. Pervov A. G., Andrianov A. P., Efremov R. V., Kozlova Yu. V. New trends in the development of modern nanofiltration systems for the preparation of high-quality drinking water: A review. *Membranes. Critical Technologies Series*, 2005, vol. 1, no. 25, pp. 18–34 (in Russian).
12. Burak L. Ch., Pisarik M. I. Efficiency of water purification by membrane filtration. *Scientific Review. Technical Sciences*, 2023, no. 1, pp. 37–43 (in Russian). <https://doi.org/10.17513/srts.1425>
13. Svitsov A. A. Membrane technologies in Russia. *The Chemical Journal*, 2010, no. 10, pp. 22–26 (in Russian).
14. Kilgus M., Gepert V., Dinges N., Merten C., Eigenberger G., Schiestel T. Palladium coated ceramic hollow fibre membranes for hydrogen separation. *Desalination*, 2006, vol. 200, iss. 1–3, pp. 95–96.
15. GOST 57164-2016 “Drinking water. Methods for determining stiffness”. Moscow, Standartinform, 2019. 18 p. (in Russian).
16. HDPE F 14.1:2:4.154-99 Ring chemical analysis of water “Methodology for measuring permanganate oxidation in food, mineral and wastewater samples by titrimetric method”. FBU “FCAO”, 2012 (in Russian). Available at: <http://gostassistant.ru/doc/7ffa2364-44d6-45bd-a295-222848f49a69>
17. MON F 14.1:2:3:4.213-05. Quantitative chemical analysis of waters “Methodology for measuring turbidity in samples of drinking water, natural surface, natural groundwater and wastewater using the turbidimetric method for kaolin and formazine”. FSBI “FCAO”, 2019 (in Russian). Available at: <https://gostassistant.ru/doc/89e8bb2c-a767-4e45-b542-0219e41ee579>
18. MON F 14.1:2:3:4.121-97. Quantitative chemical analysis of waters “Methodology for measuring the pH of water samples by the potentiometric method”. FSBI “FCAO”, 2016 (in Russian). Available at: <http://roctassistant.ru/doc/1ac57a48-649b-45a2-AF98-1fde3b1b254b>
19. GOST 31954-2012 “Drinking water. Methods for determining stiffness”. Moscow, Standartinform, 2018. 18 p. (in Russian).
20. HDPE F 14.1:2: 4.154-99 Ring chemical analysis of water “Methodology for measuring permanganate oxidation in food, mineral and wastewater samples by titrimetric method”. FBU “FCAO”, 2012 (in Russian). Available at: <http://gostassistant.ru/doc/7ffa2364-44d6-45bd-a295-222848f49a69>
21. GOST 33045-2014 “Water. Methods for the determination of nitrogen-containing substances”. Moscow, Standartinform, 2019. 20 p. (in Russian).
22. HDPE F 14.1:2: 4.50-96 Ring chemical analysis of water “Methodology for measuring the mass concentration of total iron in nutrient, alkaline and alkaline waters by photometric method with sulfosalicylic acid”. FSBI “FCAO”, 2019 (in Russian). Available at: <https://gostassistant.ru/doc/4f84d71d-91d6-4e13-bde-517fc8bdd4f2>
23. HDPE F 14.1:2:4.4-95 Quantitative chemical analysis of waters “Methodology for measuring the mass concentration of nitrate ions in drinking, surface and wastewater by photometric method with salicylic acid”. FBU “FCAO”, 2019 (in Russian). Available at: <https://gostassistant.ru/doc/04554e2e-4f1c-4aea-bf34-c1a7c1847e7e>



24. HDPE F 14.1:2:4.3-95 Ring chemical analysis of water "Method of measuring the mass concentration of nitrite ions in nutrient, alkaline and alkaline waters by photometric method with Griss reagent". FBU "FCAO", 2011 (in Russian). Available at: <https://gostassistant.ru/doc/e35687b8-cd26-47b4-b031-b848f15e5290>
25. HDPE F 14.1:2:4.214-06 Ring chemical analysis of water "Methodology for measuring mass concentrations of iron, cadmium, cobalt, manganese, nickel, copper, zinc, chromium and lead in nutrient, alkaline and alkaline waters by flame atomic absorption spectrometry". FBU "FCAO", 2011 (in Russian). Available at: <https://gostassistant.ru/doc/bb2ada6d-ae47-42ee-808e-60c9f72689d0>
26. GOST 4386-89 "Drinking water. Methods for determining the mass concentration of fluorides". Moscow, Publishing House of Standards, 1990. 11 p. (in Russian).
27. GOST 4245-72 "Drinking water. Methods for determining the chloride content". Moscow, Publishing House of Standards, 1976. 6 p. (in Russian).
28. HDPE F 14.1:2.114-97 Quantitative chemical analysis of waters "Methodology for measuring the mass concentration of dry residue in samples of natural and treated wastewater using the gravimetric method". FGU "FCAO", 2004 (in Russian). Available at: <https://gostassistant.ru/doc/aacfc642-81e9-4bf1-90b1-924e9e0f1953>
29. GOST 31940-2012 "Drinking water. Methods for determining the content of sulfates". Moscow, Standartinform, 2019. 20 p. (in Russian).
30. HDPE F 14.1:2:4.158-2000 Quantitative chemical analysis of waters. "Methodology for measuring the mass concentration of anionic surfactants (APA) in samples of natural, drinking and wastewater using the fluorimetric method on the Fluorat-02 liquid analyzer of the Federal State Budgetary Institution. "FCAO", 2004 (in Russian). Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293808/4293808613.htm>
31. HDPE F 14.1:2:4.128-98 Ring chemical analysis of water "Methodology for measuring mass concentrations of petroleum products in samples of mineral, nutrient, and wastewater using the fluorimetric method on the Fluorat-02 liquid analyzer (M 01-05-2012)". FBU "FCAO", 2018 (in Russian). Available at: <https://gostassistant.ru/doc/27e13e29-2e37-41ed-8e0d-7910f783686a>
32. GOST R 59024-2020 "Water. General requirements for sampling". Moscow, Russian Institute of Standardization, 2023. 40 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 02.09.2024; одобрена после рецензирования 06.10.2024;
принята к публикации 15.10.2024; опубликована 31.03.2025
The article was submitted 02.09.2024; approved after reviewing 06.10.2024;
accepted for publication 15.10.2024; published 31.03.2025