



Алексеева А.В., Савостикова О.Н., Стратан Г.С., Алексеев М.М., Малышева А.Г., Юдин С.М.

Гигиеническая оценка качества водных объектов и систем водоснабжения одного из промышленных городов Московской области (г. Красноармейск)

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

РЕЗЮМЕ

Введение. Промышленные города подвержены повышенной антропогенной нагрузке на водные объекты за счёт сброса сточных вод, поверхностного стока и износа инфраструктуры. Город Красноармейск Московской области — типичный пример такой территории: водоснабжение осуществляется из жёстко-ассельского водоносного горизонта с природным повышенным содержанием железа, река Воря используется в рекреационных целях, а системы водоотведения характеризуются высокой степенью износа.

Цель работы — комплексная гигиеническая оценка качества воды в системе «подземный источник водоснабжения — питьевая вода централизованной системы — сточные воды — поверхностный водоём (река Воря)» на территории г. Красноармейска Московской области на основе ретроспективного анализа данных мониторинга за 2018–2024 гг. и углублённого скрининга 2025 г. с выявлением приоритетных факторов риска.

Материалы и методы. Проанализированы пробы питьевой воды (пять водозаборных узлов), воды р. Вори и сточных вод. За период наблюдений исследовано более 100 проб (более 100 показателей). Для выявления статистически значимых трендов использован регрессионный анализ и критерий Манна — Кендалла.

Результаты. Для питьевой воды основной проблемой остаются эпизодические превышения ПДК железа (32,1% проб в 2024 г., максимальные концентрации 1,5–2 ПДК). В р. Воре зафиксирован рост содержания нефтепродуктов (с 0,016 до 0,024 мг/л), загрязнение этилбензолом до 2,8 ПДК в зонах рекреации и персистирующее микробное загрязнение (превышения по обобщённым колиформным бактериям и энтерококкам в 30% проб в 2024 г.). В сточных водах отмечается снижение концентраций взвешенных веществ, АПАВ и нефтепродуктов, однако сохраняется стабильно высокая фосфатная нагрузка (11,6–14,25 мг/дм³). Выявленные закономерности указывают на необходимость модернизации систем водоподготовки (обезжелезивания) для подземных вод и модернизацию очистки сточных вод для снижения нагрузки на поверхностный водоём.

Ограничения исследования. Исследования ограничены характеристикой вод на территории одного города.

Заключение. На основании данных ретроспективного анализа (2018–2024 гг.) и углублённого скрининга (2025 г.) дана комплексная оценка: питьевая вода соответствует нормативам, но требует мероприятий для снижения концентрации железа. Река Воря загрязнена микробиологически, выявлен статистически значимый тренд роста содержания нефтепродуктов. Сточные воды формируют устойчивую фосфатную нагрузку — фактор эвтрофикации.

Ключевые слова: питьевое водоснабжение; поверхностные воды; сточные воды; мониторинг; обезжелезивание воды; нефтепродукты; санитарно-химические показатели; промышленные города

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует заключения комитета по биомедицинской этике.

Для цитирования: Алексеева А.В., Савостикова О.Н., Стратан Г.С., Алексеев М.М., Малышева А.Г., Юдин С.М. Гигиеническая оценка качества водных объектов и систем водоснабжения одного из промышленных городов Московской области (г. Красноармейск). *Гигиена и санитария*. 2026; 105(9): 975–981. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-9-975-981> <https://elibrary.ru/vkzrad>

Для корреспонденции: Алексеева Анна Венедиктовна, e-mail: AAlekseeva@cspmrz.ru

Вклад авторов: Алексеева А.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Савостикова О.Н. — написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Стратан Г.С. — написание текста, редактирование; Алексеев М.М. — сбор материала и обработка данных; Малышева А.Г., Юдин С.М. — редактирование, утверждение окончательного варианта статьи. Все соавторы — ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследования проводились в рамках государственного задания в ФГБУ «ЦСП» ФМБА России.

Поступила: 23.03.2026 / Поступила после доработки: 14.07.2026 / Принята к печати: 15.09.2026 / Опубликовано: 20.10.2026

Anna V. Alekseeva, Olga N. Savostikova, Gabriella S. Stratan, Mikhail M. Alekseev,
Alla G. Malysheva, Sergey M. Yudin

Hygienic assessment of the quality of water bodies and water supply systems in one of the industrial cities of the Moscow Region (Krasnoarmeysk)

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

ABSTRACT

Introduction. Industrial cities are subject to increased anthropogenic pressure on water bodies due to wastewater discharges, surface runoff, and infrastructure deterioration. Krasnoarmeysk (the Moscow Region) is a typical example of such a territory: water supply is sourced from the Gzhel-Assel aquifer (with naturally elevated iron content), the Vorya River is used for recreational purposes, and wastewater disposal systems are characterized by a high degree of wear.

The aim of the study was a comprehensive hygienic assessment of water quality in the system “groundwater source – drinking water of the centralized supply system – wastewater – surface water body (the Vorya River)” in Krasnoarmeysk, the Moscow Region, based on retrospective analysis of monitoring data for 2018–2024 and an in-depth screening in 2025, with identification of priority risk factors.

Materials and Methods. Samples of drinking water (five water intake units), water from the Vorya River, and wastewater were analyzed. Over the observation period, more than 100 samples were analyzed for more than 100 parameters. Regression analysis and the Mann–Kendall test were used to identify statistically significant trends.

Results. For drinking water, the main problem remains episodic exceeding of the maximum permissible concentration (MPC) for iron (32.1% of samples in 2024, maximum concentrations of 1.5–2 MPC). In the Vorya River, an increase in petroleum product content (from 0.016 to 0.024 mg/L), ethylbenzene pollution up to 2.8 MPC in recreational areas, and persistent microbial contamination (exceeding for total coliform bacteria and enterococci in 30% of samples in 2024) were recorded. In wastewater, a decrease in concentrations of suspended solids, anionic surfactants, and petroleum products was observed; however, a persistently high phosphate load (11.6–14.25 mg/dm³) remains. The identified patterns indicate to the need for modernization of water treatment systems (iron removal) for groundwater and upgrading wastewater treatment to reduce the load on the surface water body.

Limitations. The research is limited to the characterization of waters within a single city.

Conclusion. Based on retrospective analysis (2018–2024) and in-depth screening (2025): drinking water meets standards, but requires iron adjustments. The Vorya River is microbiologically contaminated, and an upward trend in petroleum products was identified. Wastewater creates a persistent phosphate load, a factor in eutrophication.

Keywords: water hygiene; drinking water supply; surface water; wastewater; monitoring; water de-ironization; petroleum products; sanitary and chemical indicators; industrial cities

Compliance with ethical standards. The study does not require approval from a biomedical ethics committee.

For citation: Alekseeva A.V., Savostikova O.N., Stratan G.S., Alekseev M.M., Malysheva A.G., Yudin S.M. Hygienic assessment of the quality of water bodies and water supply systems in one of the industrial cities of the Moscow Region (Krasnoarmeysk). *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2026; 105(9): 975–981. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-9-975-981> <https://elibrary.ru/vkzrad> (In Russ.)

For correspondence: Anna V. Alekseeva, e-mail: AAlekseeva@cspmz.ru

Contributions: Alekseeva A.V. – concept and design of the study, writing text, approval of the final version of the article; Savostikova O.N. – writing text, editing, approval of the final version of the article; Stratan G.S. – writing text, editing; Alekseev M.M. – material collection and data processing; Malysheva A.G., Yudin S.M. – editing, approval of the final version of the article. All co-authors are responsible for the integrity of all parts of the article.

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

Funding. The research was conducted as part of a government assignment at the Center for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency of Russia.

Received: March 23, 2026 / Revised: July 27, 2026 / Accepted: September 15, 2026 / Published: October 20, 2026

Введение

Обеспечение населения безопасной питьевой водой, соответствующей гигиеническим нормативам, является фундаментальным условием сохранения общественного здоровья и санитарно-эпидемиологического благополучия¹ [1]. В Российской Федерации реализация масштабных государственных программ, таких как федеральный проект «Чистая вода», направленных на системное преодоление проблем водоснабжения, позволила значительно увеличить долю населения, обеспеченного качественной питьевой водой [2]. Вместе с тем данные мониторинга подтверждают, что проблема гарантированного качества воды сохраняет высокую актуальность для малых и средних промышленных городов с исторически сложившейся инфраструктурой² [3]. Именно в таких населённых пунктах комплексный риск для водных объектов формируется под влиянием двух взаимосвязанных групп факторов: устойчивости природного гидрогеохимического фона и интенсивности совокупной антропогенной нагрузки [3, 4].

¹ Директива Европейского Парламента и Совета Европейского союза 2020/2184 от 16 декабря 2020 г. о качестве воды, предназначенной для употребления людьми.

² Минстрой России. Паспорт федерального проекта «Чистая вода»; 2024. Доступно: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/140228>

Город Красноармейск (Московская область) – пример территории, где эти факторы проявляются в полной мере. Ключевой природной особенностью является источник централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения – подземные воды гжельско-ассельского водоносного горизонта. Для этого горизонта типично повышенное эндогенное содержание железа и иногда марганца, что создаёт устойчивую технологическую проблему на этапе водоподготовки и требует постоянного контроля эффективности обезжелезивания [5]. Значительное влияние на водные объекты города оказывает антропогенная деятельность [6]. Река Воря, протекающая через городскую территорию и отнесённая ко второй категории водопользования, выполняет важные рекреационные функции, что предъявляет повышенные требования к её санитарно-химическому и микробиологическому качеству в связи с риском для здоровья населения [7]. Состояние реки напрямую зависит от работы систем водоотведения и ливневой канализации, высокий износ которых, усугублённый отсутствием централизованных ливневых коллекторов, повышает риски аварийных и неучтённых сбросов [8]. Важным элементом системы являются сточные воды, сбрасываемые после очистки. Их качество служит индикатором эффективности коммунальных и локальных промышленных очистных сооружений. Наличие в стоках

специфических загрязнителей (нефтепродукты, галогенорганические соединения, тяжёлые металлы) свидетельствует о производственном генезе загрязнения и недостаточной глубине очистки [9].

Необходимо отметить, что подземный горизонт гидравлически не связан с р. Ворей, однако комплексный анализ всех компонентов водной среды на одной урбанизированной территории необходим для гигиенической оценки рисков, связанных с различными путями водопользования (питьевое, рекреационное, водоотведение).

Несмотря на регулярный ведомственный контроль, комплексный анализ всей системы «подземный горизонт — питьевая вода — сточные воды — поверхностный водоём» на территории одного промышленного города ранее не проводился. Отсутствие интегральной оценки не позволяет объективно ранжировать факторы риска и обосновать приоритетные природоохранные меры.

Таким образом, для объективной оценки санитарно-экологической ситуации и выявления приоритетных управленческих решений необходим комплексный подход к мониторингу, охватывающий всю цепочку: источник питьевого водоснабжения, сбрасываемые сточные воды, поверхностный водный объект (река). Ретроспективный анализ многолетних данных по широкому спектру показателей (органолептические, обобщённые, микробиологические, санитарно-химические) является важным инструментом выявления устойчивых трендов, установления причинно-следственных связей и оценки эффективности ранее принятых природоохранных мер.

Цель исследования — комплексная гигиеническая оценка качества воды в системе «подземный источник водоснабжения — питьевая вода централизованной системы — сточные воды — поверхностный водоём (р. Воря)» на территории г. Красноармейска Московской области на основе ретроспективного анализа данных мониторинга за 2018–2024 гг. и углублённого скрининга 2025 г. с выявлением приоритетных факторов риска.

Материалы и методы

Исследование носило комплексный характер и включало два основных этапа: ретроспективный анализ данных многолетнего мониторинга ФГБУ «ЦСП» ФМБА России за период 2018–2024 гг. и углублённое скрининговое исследование компонентов водной среды, выполненное в 2025 г. Объектами исследования служили пробы воды трёх категорий, ежемесячно отбираемые на территории г. Красноармейска Московской области: подземные воды из артезианских скважин (гжельско-ассельский и касимовский горизонты) на пяти водозаборных узлах (ВЗУ № 1–5), вода из резервуаров чистой воды на всех ВЗУ перед подачей в сеть, вода из распределительной (разводящей) сети; поверхностная вода из контрольных створов р. Вори (выше города, в зоне массового купания, ниже города); промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды, отбираемые на территории промышленных предприятий и в месте сброса сточных вод в р. Вору. Анализ проб выполнялся в лабораториях, аккредитованных в соответствии с ГОСТ ИСО/МЭК 17025–2019. Всего за период наблюдений было отобрано и проанализировано более 100 проб по показателям химического и микробиологического загрязнения, количество которых варьировало по годам (минимальное в 2020–2021 гг., максимальное — в 2024 г.).

Скрининговые исследования охватывали более 100 показателей: органолептические (запах, цветность, мутность), обобщённые (жёсткость, перманганатная окисляемость, рН), химические (тяжёлые металлы, летучие ароматические углеводороды, нефтепродукты, поверхностно-активные вещества (АПАВ), хлорорганические соединения и пестициды и др.).

Оценку соответствия качества воды проводили по нормативам СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвред-

ности для человека факторов среды обитания»³. Для выявления статистически значимых изменений за семилетний период применяли методы непараметрической статистики (критерий Манна — Уитни для оценки трендов) и параметрический критерий Стьюдента для сравнения средних величин в независимых выборках. Различия считались статистически значимыми при уровне вероятности ошибки $p < 0,05$. Анализ динамики доли неудовлетворительных проб проводили с использованием регрессионного анализа.

Результаты

Качество питьевой воды. Для санитарно-химической оценки качества воды подземных источников централизованного водоснабжения г. Красноармейска были определены два направления: анализ усреднённых показателей качества и анализ частоты выявления проб, не соответствующих гигиеническим нормативам. Установлено, что среднегодовые концентрации контролируемых показателей не превышали установленных гигиенических нормативов. За период 2018–2024 гг. по органолептическим показателям отмечена тенденция к снижению цветности (с 9,5–10,4 до 5–6,4 град.) и мутности (с 1 до 0,1–1,61 мг/дм³). Содержание железа варьировалось от 0,1 до 0,28 мг/дм³, оставаясь в пределах допустимых значений. Концентрации тяжёлых металлов (Cu, Pb, Cd, Hg, Be, Co, Se, Cr, Zn), мышьяка, соединений азотной группы на протяжении всего периода наблюдений не обнаруживались либо значения регистрировались в пределах десятых-тысячных долей мг/дм³, что характерно для условно фоновых значений подземных вод. Максимальная зарегистрированная концентрация бериллия составила 0,00018, кобальта — 0,001, селена — 0,004, хрома — 0,0016, цинка — 0,00036, меди — 0,00036 мг/дм³, что значительно ниже установленных гигиенических нормативов. Данные о среднегодовых концентрациях веществ, загрязняющих воду ЦВС, приведены в **табл. 1**. По средним многолетним показателям вода подземных источников характеризуется как стабильная и соответствующая нормативам. Отдельные колебания связаны с природными особенностями водоносных горизонтов и сезонными факторами.

Несмотря на благополучные средние показатели, анализ индивидуальных проб выявил превышения гигиенических нормативов, динамика которых носила волнообразный характер. В 2018–2019 гг. доля проб, не соответствующих нормативам, составляла 8,6% (5 из 58) и 12,8% (5 из 39) соответственно. Неудовлетворительные результаты регистрировались исключительно по показателю мутности и содержанию железа. Данные результаты могут быть связаны с природными особенностями подземных вод среднего карбона. В 2020–2021 гг. наблюдалось постепенное увеличение доли неудовлетворительных проб до 14,9% (11 из 74) и 16,9% (15 из 89) соответственно. Наиболее неблагоприятная ситуация сложилась в 2022 г., когда доля неудовлетворительных проб достигла максимального значения за весь период наблюдения — 53% (42 из 79). При анализе воды из подземных источников (артезианских скважин) доля проб с превышением ПДК железа в 2024 г. составила 49,3%, что характерно для природного состава гжельско-ассельского горизонта. После водоподготовки в резервуарах чистой воды этот показатель снизился до 32,1% (9 из 28 проб), однако сохраняющиеся превышения (1,5–2 ПДК) свидетельствуют о недостаточной эффективности работы станций обезжелезивания.

Превышений ПДК высокотоксичных элементов (As, Be, Cd, Co, Hg, Ni, Pb) не выявлено. Жёсткость воды (4,7–5,6 °Ж) соответствует норме для региона. Содержание марганца снизилось с 0,023 мг/дм³ в 2019 г. до 0,001 мг/дм³ в 2023–2024 гг. В единичных пробах обнаружен побочный продукт хлорирования бромдихлорметан (0,029 мг/л, на границе ПДК 0,03 мг/дм³).

³ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Таблица 1 / Table 1

Среднегодовые концентрации веществ, загрязняющих воду ЦВС, мг/дм³
Average annual concentrations of substances that pollute water in centralized water supply, mg/dm³

Контролируемое соединение Controlled substance	ПДК МРС	Год Year						
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Нефтепродукты (суммарно) Petroleum products (total)	0.1	0.0015	0.0021	0.0011	0.0013	0.0014	0.0031	0.0016
Алюминий (Al, суммарно) Aluminum (Al, total)	0.2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Аммиак/аммоний ион (NH ₃ /NH ₄ ⁺) Ammonia/ammonium ion (NH ₃ /NH ₄ ⁺)	1.5–5.0	0.46	0.23	0.16	0.21	0.12	0.11	0.13
Железо (Fe, суммарно) Iron (Fe, total)	0.3	0.24	0.17	0.2	0.34	0.08	0.24	0.2
Марганец (Mn, суммарно) Manganese (Mn, total)	0.1	0.017	0.023	0.001	0.002	0.0029	0.001	0.001
Никель (Ni, суммарно) Nickel (Ni, total)	0.02	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Ртуть (Hg, суммарно) Mercury (Hg, total)	0.0005	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Свинец (Pb, суммарно) Lead (Pb, total)	0.01	0.00012	0.00014	0.00016	0.00011	0.00011	0.0001	0.00013

Ежегодный объём исследований микробиологических показателей воды источников варьировался от 23 до 106 проб в период 2018–2024 гг. Наименьшее количество проб было исследовано в 2020 г. ($n = 23$), наибольшее – в 2023 г. ($n = 106$). В 2018–2021 гг. все исследованные пробы соответствовали гигиеническим нормативам, неудовлетворительные результаты отсутствовали. Первые несоответствия зафиксированы в 2022 г.: 2 пробы (1,9%) не отвечали установленным требованиям. В 2023 и 2024 гг. количество нестандартных проб возросло до 3 ежегодно, доля неудовлетворительных результатов была одинаковой – 2,8%. Важно отметить, что во всех случаях (2022–2024 гг.) после проведения повторных контрольных исследований отобранные пробы полностью соответствовали гигиеническим нормативам, что указывает на оперативность и эффективность принятых корректирующих мер.

Качество поверхностных вод. Оценку качества воды р. Вори по санитарно-химическим показателям проводили в рамках мониторинга поверхностных водоисточников. В 2018–2019 гг. исследовали по 9 проб ежегодно. Во всех пробах зафиксировано превышение нормативов химического потребления кислорода (ХПК) и биохимического потребления кислорода (БПК), что свидетельствует о наличии органического загрязнения воды. При этом превышений содержания тяжёлых металлов, нефтепродуктов и поверхностно-активных веществ (ПАВ) не обнаружено, что позволяет предположить преимущественно органическую природу загрязнения без выраженной токсической составляющей. В 2020 г. объём исследований сократился до 6 проб, в 2021–2024 гг. количество проб варьировалось от 5 до 6 в год, поэтому было невоз-

можно в полной мере оценить динамику органического загрязнения, однако косвенные данные свидетельствуют о том, что оно присутствовало.

Анализ содержания металлов и других нормируемых веществ показал, что среднегодовые концентрации большинства показателей не превышали установленных гигиенических нормативов. Данные о среднегодовых концентрациях веществ, загрязняющих воду поверхностных водоисточников, приведены в **табл. 2**. Содержание железа на протяжении всего периода находилось в пределах 0,16–0,55 мг/дм³, марганца – 0,001–0,13 мг/дм³. Показатель загрязнения нефтепродуктами был в пределах СанПиН 1.2.3685–21³. Концентрации тяжёлых металлов (Al, Cd, As, Ni, Pb, Se, Cr, Zn, Cu) на протяжении всего периода наблюдений были значительно ниже предельно допустимых уровней, что свидетельствует об отсутствии загрязнения водотока указанными элементами. Вместе с тем вызывает насторожённость статистически значимый восходящий тренд содержания нефтепродуктов: их концентрация возросла с 0,016 мг/дм³ в 2018 г. до 0,024 мг/дм³ в 2024 г. (прирост ~ 50%). В отдельных створах, в зонах рекреационного использования обнаружено загрязнение ароматическими углеводородами: максимальное превышение ПДК этилбензола составило 2,8 раза.

За период 2018–2024 гг. объём микробиологических исследований воды р. Вори характеризовался выраженной неравномерностью. Наименьшее количество проб отобрано в 2020–2021 гг. ($n = 6$ ежегодно), наибольшее – в 2024 г. ($n = 50$). С 2022 г. отмечается существенное расширение программы исследований: число проб возросло до 22 ежегодно в 2022–2023 гг. и до 50 в 2024 г. Доля удовлетво-

Таблица 2 / Table 2

Среднегодовые концентрации веществ, загрязняющих воду поверхностных водоисточников, мг/дм³
Average annual concentrations of substances that pollute water in surface water sources, mg/dm³

Контролируемое соединение Controlled substance	ПДК МРС	Год Year						
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Железо (Fe, суммарно) Iron (Fe, total)	1/3/5*	0.47	0.39	0.52	0.48	0.55	0.39	0.16
Кадмий (Cd, суммарно) Cadmium (Cd, total)	0.001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.00016	0.00019	0.00018
Марганец (Mn, суммарно) Manganese (Mn, total)	0.1/1.0/2.0*	0.13	0.007	0.011	0.001	0.001	0.0015	0.0018
Нефтепродукты (суммарно) Petroleum products (total)	Не должно быть плёнки There should be no film	0.016	0.021	0.018	0.021	0.03	0.02	0.024
Никель (Ni, суммарно) Nickel (Ni, total)	0.02	0.003	0.005	0.003	0.0014	0.0016	0.003	0.0016
Свинец (Pb, суммарно) Lead (Pb, total)	0.01	0.0002	0.00046	0.00081	0.00013	0.0002	0.0001	0.00016

Примечание. * – согласно СанПиН 1.2.3685–21.

Note: * – in accordance with SanPiN 1.2.3685–21.

Таблица 3 / Table 3

Среднегодовые концентрации веществ в сточных водах, мг/дм³
Average annual concentrations of substances in wastewater, mg/dm³

Контролируемое вещество (показатель) Controlled substance (indicator)	Год Year						
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
ПАВ анионоактивные (суммарно) (АПАВ) Anionic surfactants (total)	0.114	0.1	0.023	0.1	0.016	0.011	0.012
Взвешенные вещества Suspended substances	2.6	1.9	2.21	2.13	1.65	1.7	1.26
Железо (Fe, суммарно) Iron (Fe, total)	0.18	0.76	0.55	0.34	0.26	0.36	0.27
Медь (Cu, суммарно) Copper (Cu, total)	0.0003	0.00028	0.0008	0.0028	0.008	0.0046	0.00013
Нефтепродукты (суммарно) Petroleum products (total)	0.127	0.032	0.071	0.014	0.064	0.031	0.017
Нитраты (NO ₃ ⁻) Nitrates (NO ₃ ⁻)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Нитриты (NO ₂ ⁻) Nitrites (NO ₂ ⁻)	0.05	0.16	0.03	0.021	0.018	0.026	0.022
Полифосфаты (PO ₄ ³⁻) Polyphosphates (PO ₄ ³⁻)	16.2	10.5	11.6	12.36	14.25	11.36	12.6

рительных проб варьировалась от 13,33% в 2018–2019 гг. до 83,33% в 2021 г. В 2018 и 2019 гг. при исследовании 15 проб ежегодно зарегистрировано по 2 нестандартных результата по показателю «общие колиформные бактерии» (ОКБ), что составило 13,33%. При этом паразитологические показатели, колифаги и возбудители кишечных инфекций не обнаруживались.

Резкое ухудшение качества воды зафиксировано в 2020–2021 гг. В 2020 г. из 6 исследованных проб 3 не соответствовали нормативам по ОКБ и термотолерантным колиформным бактериям (ТКБ), доля нестандартных проб достигла 50%. В 2021 г. при том же объёме исследований ($n = 6$) неудовлетворительные результаты выявлены в 5 пробах – 83,33%. Превышения регистрировались и выше города по течению реки, и по створам в середине и ниже по течению. С 2022 г. на фоне увеличения объёма исследований доля нестандартных проб снизилась, однако оставалась стабильно высокой: в 2022 г. – 31,8% (7 неудовлетворительных проб из 22), в 2023 г. – 27,27% (6 из 22), в 2024 г. – 30% (15 из 50).

Анализ микробного загрязнения показал, что во всех нестандартных пробах 2022–2024 гг. регистрировалось превышение по ОКБ: в 2024 г. оно составило от 3,2 до 160 раз. Также в пробах из р. Вори систематически обнаруживалось превышение гигиенического норматива энтерококков в 1,4–6,2 раза. Холерный вибрион и патогенные бактерии рода *Salmonella* за весь период наблюдений не были обнаружены.

Таким образом, с 2020 г. по настоящее время качество воды поверхностных водоёмов характеризуется стабильно высокой долей проб, не соответствующих гигиеническим нормативам по микробиологическим показателям. Наиболее неблагоприятная ситуация сложилась в 2021 г. (83,33% нестандартных проб). Несмотря на некоторое снижение доли нестандартных проб в 2022–2024 гг. по сравнению с пиковым значением, уровень микробного загрязнения остаётся значительным и имеет тенденцию к сохранению.

Качество сточных вод. Результаты исследований сточных вод за период 2018–2024 гг. представлены в табл. 3. Анализ охватывал широкий перечень показателей, в том числе содержание взвешенных веществ, органических соединений (АПАВ, нефтепродукты), биогенных элементов (азот-, фосфорсодержание) и тяжёлых металлов. Необходимо отметить, что маркерами промышленного генеза являются нефтепродукты и тяжёлые металлы. Взвешенные вещества, нитраты, нитриты и АПАВ характерны для смешанного коммунально-промышленного стока. Анализ сточных вод за 2018–2024 гг. выявил высокий уровень загрязнения. Содержание нефтепродуктов снизилось с 0,127 мг/дм³ в 2018 г. до 0,017 мг/дм³ в 2024 г., но в отдельные годы превышало нормативы. Концентрация меди колебалась, достигая максимума 0,008 мг/дм³ в 2022 г. Содержание взвешенных ве-

ществ колебалось в пределах 1,26–2,6 мг/дм³. Максимум пришёлся на 2018 г. (2,6 мг/дм³), минимум – на 2024 г. (1,26 мг/дм³). Прослеживается общая тенденция к снижению показателя. Значения концентрации АПАВ находились в интервале 0,011–0,114 мг/дм³. Наибольшие показатели были зафиксированы в 2018 и 2021 гг. (0,114 и 0,1 мг/дм³ соответственно), тогда как уже к 2020 г. обозначилась устойчивая тенденция к снижению: содержание АПАВ опустилось до 0,011–0,023 мг/дм³ и в последующем держалось на этом уровне. Такую динамику можно расценивать как свидетельство повышения эффективности очистки. Диапазон показателя содержания полифосфатов оказался шире – от 10,5 до 16,2 мг/дм³. Максимальное значение (16,2 мг/дм³) зафиксировано в 2018 г., минимальное (10,5 мг/дм³) – в 2019 г. В последующие годы уровень стабилизировался в пределах 11,6–14,25 мг/дм³, причём заметной тенденции к уменьшению не прослеживалось. В сочетании с повышенными концентрациями нитритов это создаёт риск эвтрофикации водного объекта. Совокупность полученных результатов свидетельствует о необходимости модернизации очистных сооружений. В первую очередь требуется внедрение технологий удаления биогенных элементов и специфических загрязнителей промышленного происхождения.

Обсуждение

Проведённый комплексный анализ позволил дифференцировать для каждого из изученных объектов Красноармейска проблемы качества воды и установить их вероятные причины, что создаёт основу адресного планирования корректирующих мероприятий.

Качество питьевой воды подземных источников и централизованного водоснабжения в целом может быть оценено как стабильно удовлетворительное. Среднегодовые концентрации контролируемых веществ на протяжении всего периода не превышали гигиенических нормативов, а содержание токсикантов (мышьяк, кадмий, ртуть, свинец) находилось на уровне фоновых значений, характерных для подземных вод данного региона. Это подтверждает эффективность барьерной роли водоносного горизонта и существующей системы водоподготовки. Основной проблемой остаются эпизодические превышения содержания железа и показателя мутности в пробах, доля которых после пикового значения 2022 г. (53%) в 2024 г. сохраняется на высоком уровне (32,1%). Данный факт полностью согласуется с гидрогеохимическими особенностями гжельско-ассельского горизонта, для которого повышенное фоновое содержание железа является типичным [5, 10] и указывает на необходимость оптимизации работы станций обезжелезивания либо внедрения дополнительных технологических ступеней. Положительной динамикой можно считать сни-

жение содержания марганца (с 0,023 мг/дм³ в 2019 г. до 0,001 мг/дм³ в 2023–2024 гг.). Обнаружение в единичных пробах бромдихлорметана на уровне ПДК (0,029 мг/дм³) требует внимания, поскольку побочные продукты дезинфекции являются объектом пристального контроля в связи с потенциальными отдалёнными рисками для здоровья⁴ [11, 12]. Ситуация усугубляется отсутствием утверждённых проектов зон санитарной охраны (ЗСО) для двух из пяти водозаборных узлов (ВЗУ № 3 и № 4). Это создаёт потенциальные риски загрязнения источников и не позволяет в полной мере гарантировать эпидемиологическую безопасность водоснабжения в долгосрочной перспективе.

Санитарно-химическое состояние р. Вори по большинству показателей можно признать благоприятным. Содержание железа и марганца на протяжении всего периода соответствовало требованиям СанПиН 1.2.3685–21 для водных объектов рекреационного водопользования. Концентрации тяжёлых металлов оставались стабильно низкими. Вместе с тем выявлены тенденции, требующие внимания. Статистически значимый рост содержания нефтепродуктов (примерно на 50% за семь лет) является маркёром увеличения антропогенной нагрузки, связанной с поверхностным стоком с автодорог, промышленных площадок и, возможно, неучтёнными сбросами [13]. Обнаружение ароматических углеводородов (этилбензол) в зонах рекреации прямо указывает на локальные источники загрязнения, требующие выявления и ликвидации. Микробиологическое качество воды остаётся наиболее чувствительным индикатором антропогенного влияния. Доля проб, не соответствующих нормативам, после пика 2021 г. (83,3%) стабилизировалась на уровне около 30% (2024 г. – 30%). Персистирующее микробное загрязнение р. Вори, регистрируемое в том числе выше города, указывает на совокупное влияние нескольких факторов: поверхностного стока с урбанизированных и прилегающих территорий, смывов с автодорог [14], а также эпизодических поступлений недостаточно очищенных или неочищенных сточных вод, что согласуется с высоким износом канализационных сетей и отсутствием централизованных ливневых коллекторов. Это указывает на необходимость совершенствования системы водоотведения и ливневой канализации, а также усиления контроля источников загрязнения в водосборном бассейне.

⁴ National Toxicology Program. 15th Report on Carcinogens. Rep Carcinog. 2021 Dec 21;15:roc15. doi: 10.22427/NTP-OTHER-1003; PMID: 39456132

Анализ состава сточных вод подтвердил их преимущественно смешанный генезис. Присутствие стабильно высоких концентраций полифосфатов и наличие маркёров бытовых стоков (АПАВ) указывает на значительный вклад коммунального сектора. В то же время содержание нефтепродуктов и меди (с характерной нестабильностью концентраций) является прямым подтверждением промышленного влияния, обусловленного деятельностью предприятий города. За анализируемый период прослеживается положительная динамика ряда показателей. Так, содержание взвешенных веществ сократилось с 2,6 до 1,26 мг/дм³, АПАВ – с 0,114 до 0,012 мг/дм³, а концентрация нефтепродуктов снизилась с 0,13 до 0,017 мг/дм³. Вероятнее всего, это связано с проведённой модернизацией очистных сооружений. Несмотря на положительную динамику ряда показателей, на протяжении всего периода наблюдений фосфатная нагрузка остаётся стабильно высокой – на уровне 11,6–14,25 мг/дм³, при этом тенденции к снижению не выявлено. Поступление биогенных элементов служит ключевым фактором эвтрофикации водных объектов и негативно сказывается на качестве воды р. Вори [15].

Заключение

Проведённый комплексный ретроспективный анализ данных мониторинга за 2018–2024 гг. и углублённого скрининга 2025 г. позволил дать комплексную гигиеническую оценку качества воды в системе «подземный горизонт – питьевая вода – сточные воды – поверхностный водоём» на территории г. Красноармейска и достичь поставленной цели исследования.

Установлено, что в системе водоснабжения и водоотведения г. Красноармейска сформировались три приоритетных фактора риска: обусловленное геохимическими особенностями загрязнение подземных вод железом, персистирующее микробное загрязнение р. Вори и устойчивая фосфатная нагрузка от сточных вод. Полученные результаты формируют основу адресных управленческих решений: оптимизации системы обезжелезивания на станции водоподготовки, технологического переоснащения очистных сооружений для извлечения фосфатов, реконструкции канализационных и ливневых сетей для предотвращения неучтённых сбросов. Реализация указанных мероприятий позволит снизить антропогенную нагрузку на водные объекты, укрепить санитарно-эпидемиологическую надёжность водоснабжения и обеспечить устойчивое функционирование водохозяйственного комплекса города.

Литература

1. Рахманин Ю.А., Синицына О.О., Егорова Н.А., Турбинский В.В., Алексеева А.В., Кузь Н.В. и др. Достижения и перспективные направления научных разработок в области гигиенического нормирования качества воды в централизованных системах водообеспечения населённых мест. *Гигиена и санитария*. 2026; 105(1): 6–14. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-1-6-14> <https://elibrary.ru/ayfaal>
2. Горбанев С.А., Мясников И.О., Новикова Ю.А., Тихонова Н.А. Совершенствование системы управления качеством питьевой воды при реализации федерального проекта «Чистая вода». *Гигиена и санитария*. 2022; 101(10): 1167–73. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1167-1173> <https://elibrary.ru/hvhwlp>
3. Дядюрин А.Ю., Король В.В. Федеральный проект «Чистая вода» как инструмент системного решения проблем водоснабжения и водоотведения в Центральном федеральном округе. В кн.: *Современные тенденции в науке, технике, образовании: материалы Всероссийской научно-практической конференции*. Орёл; 2025: 50–9. <https://elibrary.ru/wwwpcgs>
4. Злобина В.Л., Медовар Ю.А., Юшманов Ю.О. Трансформация состава и свойств подземных вод при изменении окружающей среды. М.: Мир науки; 2017.
5. Галицкая И.В., Жигалин А.Д., Костинова И.А., Позднякова И.А., Баринов А.С., Коренков И.П. и др. Закономерности формирования гидрогеохимических и радиационных условий на территории северо-восточной части Сергиево-Посадского района. *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология*. 2010; (5): 399–409. <https://elibrary.ru/mujqar>
6. Нефедова Е.Г. Урбанизация как один из основных факторов повышения антропогенной нагрузки на водные экосистемы Воронежской области. В кн.: *Третьи Виноградовские чтения. Грани гидрологии*. Санкт-Петербург; 2018: 416–20. <https://elibrary.ru/uaixta>
7. Попова А.Ю., Кузьмин С.В., Механтьев И.И. Оценка эффективности реализации системного подхода к обеспечению гигиенической безопасности питьевого и рекреационного водопользования населения на примере Воронежской области. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНУСО*. 2021; 29(8): 7–14. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-8-7-14> <https://elibrary.ru/fdconj>
8. Цгоев Т.Ф., Амбалов В.Б. Экологическое состояние малых рек на примере РСО-Алания. *Национальная Ассоциация Ученых*. 2020; 58(3): 24–7. <https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2020.3.58.284> <https://elibrary.ru/wqkdkr>
9. Фонова С.И., Бурак Е.Э., Эпиташвили А.В. Исследование сточных вод, прошедших очистку на городской станции очистки сточных вод. В кн.: *Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы Семнадцатой Общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций*. Москва; 2022: 150–2. <https://elibrary.ru/nlieng>
10. Трифонова Т.А., Селиванов О.Г., Марцев А.А., Курбатов Ю.Н. Гигиеническая оценка содержания железа в источниках хозяйственно-питьевого водоснабжения Владимирской области. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(10): 1035–42. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-10-1035-1042> <https://elibrary.ru/kjlila>

Original article

11. Wang Y., Zhu G., Engel B. Health risk assessment of trihalomethanes in water treatment plants in Jiangsu Province, China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2019; 170: 346–54. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.004>
12. Aschengrau A., Janulewicz P.A., White R.F., Vieira V.M., Gallagher L.G., Getz K.D., et al. Long-term neurotoxic effects of early-life exposure to tetrachloroethylene-contaminated drinking water. *Ann. Glob. Health.* 2016; 82(1): 169–79. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2016.01.013>
13. Bakr A.R., Fu G.Y., Hedeem D. Water quality impacts of bridge stormwater runoff from scupper drains on receiving waters: a review. *Sci. Total Environ.*

- 2020; 726: 138068. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138068> <https://elibrary.ru/dggrqx>
14. Каторгина Н.О., Лукина А.В. Сети водоснабжения и их влияние на окружающую среду городских территорий. *Проблемы науки.* 2016; 12(13): 36–8. <https://elibrary.ru/xepnsl>
15. Yesigat A., Worku A., Mekonnen A., Bae W., Feyisa G.L., Gatew S., et al. Phosphorus recovery as K-struvite from a waste stream: a review of influencing factors, advantages, disadvantages and challenges. *Environ. Res.* 2022; 214(Pt 3): 114086. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114086> <https://elibrary.ru/xfbned>

References

1. Rakhmanin Yu.A., Sinitsyna O.O., Egorov N.A., Turbinsky V.V., Alekseeva A.V., Kuz N.V., et al. Achievements and promising directions of scientific research in the field of hygienic regulation of water quality in centralized water supply systems of populated areas. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2026; 105(1): 6–14. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-1-6-14> <https://elibrary.ru/ayfaal> (in Russian)
2. Gorbanev S.A., Myasnikov I.O., Novikova Yu.A., Tikhonova N.A. Improving the drinking water quality management system during the implementation of the federal project “Clean Water”. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(10): 1167–73. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1167-1173> <https://elibrary.ru/hvhwph> (in Russian)
3. Dyadyurin A.Yu., Korol V.V. Federal project “Clean Water” as a tool for systemic solution of water supply and sanitation problems in the Central Federal District. In: *Modern Trends in Science, Technology, Education: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference [Sovremennyye tendentsii v nauke, tekhnike, obrazovanii: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii]*. Orel; 2025: 50–9. <https://elibrary.ru/wvpcgs> (in Russian)
4. Zlobina V.L., Medovar Yu.A., Yushmanov Yu.O. *Transformation of the composition and properties of groundwater under environmental changes [Transformatsiya sostava i svoystv podzemnykh vod pri izmenenii okruzhayushchei sredy]*. Moscow: Mir nauki; 2017. (in Russian)
5. Galitskaya I.V., Zhigalin A.D., Kostikova I.A., Pozdnyakova I.A., Barinov A.S., Korenkov I.P., et al. Patterns of formation of hydrogeochemical and radiation conditions in the north-eastern part of the Sergiev Posad district. *Geokologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya.* 2010; (5): 399–409. <https://elibrary.ru/mujqar> (in Russian)
6. Nefedova E.G. Urbanization as one of the main factors increasing anthropogenic load on aquatic ecosystems of the Voronezh region. In: *Third Vinogradov Readings. Facets of Hydrology [Tret'i Vinogradovskie chteniya. Grani gidrologii]*. St. Petersburg; 2018: 416–20. <https://elibrary.ru/uaajta> (in Russian)
7. Popova A.Yu., Kuzmin S.V., Mekhantsev I.I. Assessment of implementation efficiency of the system approach to ensuring safety of public drinking and recreational water use on the example of the Voronezh Region. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya — ZNiSO.* 2021; 29(8): 7–14. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-8-7-14> <https://elibrary.ru/fdconj> (in Russian)
8. Tsgoev T.F., Ambalov V.B. Ecological state of small rivers on the example of North Ossetia-Alania. *Natsional'naya Assotsiatsiya Uchenykh.* 2020; 58(3): 24–7. <https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2020.3.58.284> <https://elibrary.ru/wqkdkr> (in Russian)
9. Fonova S.I., Burak E.E., Epitashvili A.V. Study of wastewater treated at a municipal wastewater treatment plant. In: *Prospects for the Development of Engineering Surveys in Construction in the Russian Federation: Proceedings of the Seventeenth All-Russian Scientific and Practical Conference and Exhibition of Surveying Organizations [Perspektivy razvitiya inzhenernykh izyskaniy v stroitel'stve v Rossiiskoi Federatsii]*. Moscow; 2022: 150–2. <https://elibrary.ru/nlieng> (in Russian)
10. Trifonova T.A., Selivanov O.G., Martsev A.A., Kurbatov Yu.N. Hygienic assessment of iron content in sources of domestic drinking water supply in the Vladimir region. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(10): 1035–42. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-10-1035-1042> <https://elibrary.ru/kjlila> (in Russian)
11. Wang Y., Zhu G., Engel B. Health risk assessment of trihalomethanes in water treatment plants in Jiangsu Province, China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2019; 170: 346–54. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.004>
12. Aschengrau A., Janulewicz P.A., White R.F., Vieira V.M., Gallagher L.G., Getz K.D., et al. Long-term neurotoxic effects of early-life exposure to tetrachloroethylene-contaminated drinking water. *Ann. Glob. Health.* 2016; 82(1): 169–79. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2016.01.013>
13. Bakr A.R., Fu G.Y., Hedeem D. Water quality impacts of bridge stormwater runoff from scupper drains on receiving waters: a review. *Sci. Total Environ.* 2020; 726: 138068. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138068> <https://elibrary.ru/dggrqx>
14. Katorgina N.O., Lukina A.V. Water supply networks and their impact on the environment of urban areas. *Problemy nauki.* 2016; 12(13): 36–8. <https://elibrary.ru/xepnsl> (in Russian)
15. Yesigat A., Worku A., Mekonnen A., Bae W., Feyisa G.L., Gatew S., et al. Phosphorus recovery as K-struvite from a waste stream: a review of influencing factors, advantages, disadvantages and challenges. *Environ. Res.* 2022; 214(Pt 3): 114086. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114086> <https://elibrary.ru/xfbned>

Сведения об авторах

Алексеева Анна Венидиговна, канд. мед. наук, начальник отд. гигиены, ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: AAlekseeva@cspmrz.ru

Савостикова Ольга Николаевна, канд. мед. наук, начальник отд. физико-химических методов исследования и экотоксикологии, ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: OSavostikova@cspmrz.ru

Стратан Габриэлла Сергеевна, лаборант отд. гигиены ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: GStratan@cspfmbr.ru

Алексеев Михаил Максимович, мл. науч. сотр. отд. физико-химических методов исследования и экотоксикологии, ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: MAlekseev@cspmrz.ru

Малышева Алла Георгиевна, доктор биол. наук, профессор, вед. науч. сотр. ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: AMalysheva@cspfmbr.ru

Юдин Сергей Михайлович, доктор мед. наук, профессор, генеральный директор ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: info@cspfmbr.ru

About the authors

Anna V. Alekseeva, PhD (Medicine), head, Department of hygiene, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0422-8382> E-mail: AAlekseeva@cspmrz.ru

Olga N. Savostikova, PhD (Medicine), head, Department of Physicochemical Research Methods and Ecotoxicology, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7032-1366> E-mail: OSavostikova@cspmrz.ru

Gabriella S. Stratan, laboratory assistant, Department of Hygiene, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0001-5721-4531> E-mail: GStratan@cspfmbr.ru

Mikhail M. Alekseev, junior researcher, Department of Physicochemical Research Methods and Ecotoxicology, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0006-7587-090X> E-mail: MAlekseev@cspmrz.ru

Alla G. Malysheva, DSc (Biology), professor, leading researcher, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3112-0980> E-mail: AMalysheva@cspfmbr.ru

Sergey M. Yudin, DSc (Medicine), professor, general director, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7942-8004> E-mail: info@cspfmbr.ru