

Медицина труда и экология человека

№2/2025

Сетевое издание
ISSN 2411 – 3794



12+

uniimtech.ru



Учредитель

Федеральное бюджетное учреждение науки

«Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека»

Главный редактор – А.Б. Бакиров, д.м.н., проф., академик АН РБ – советник директора ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека»

Зам. главного редактора – Д.О. Каримов, к.м.н.

Редакционный совет:

Богданова Н.В., Ph.D. (Германия, Ганновер),
Бухтияров И.В., д.м.н., проф., акад. РАН (Россия, Москва),
Зайцева Н.В., д.м.н., акад. РАН (Россия, Пермь),
Зеленко А.В., к.м.н. (Белоруссия, Минск),
Кузьмин С.В., д.м.н., проф. (Россия, Москва),
Кузьмина Л.П., д.б.н. (Россия, Москва),
Май И.В., д.б.н., проф. (Россия, Пермь),
Мустафина И.З., к.м.н. (Россия, Москва),
Перов С.Ю., д.б.н. (Россия, Москва),
Попова А.Ю., д.м.н., проф. (Россия, Москва),
Потатурко А.В., д.м.н. (Россия, Екатеринбург),
Потеряева Е.Л., д.м.н. (Россия, Новосибирск),
Ракитский В.Н., д.м.н., акад. РАН (Россия, Москва),

Рахманин Ю.А., д.м.н., проф., акад. РАН (Россия, Москва),
Романович И.К., д.м.н., проф., акад. РАН (Россия, Санкт-Петербург),
Рыжов А.Я., д.б.н., проф. (Россия, Тверь),
Сарманаев С.Х., д.м.н., проф. (Россия, Москва),
Семенихин В.А., д.м.н. (Россия, Кемерово),
Спирин В.Ф., д.м.н., проф. (Россия, Саратов),
Сутункова М.П., д.м.н. (Россия, Екатеринбург),
Сычик С.И., к.м.н. (Белоруссия, Минск),
Тутельян В.А., д.м.н., проф., акад. РАН (Россия, Москва),
Фатхутдинова Л.М., проф., д.м.н. (Россия, Казань),
Хамидулина Х.Х., д.м.н., проф. (Россия, Москва),
Хотимченко С.А., д.м.н., проф., член-корр. РАН (Россия, Москва)

Редакционная коллегия:

Багрянцева О.В., д.б.н. (Россия, Москва),
Бухарина И.Л., д.б.н. (Россия, Ижевск),
Бактыбаева З.Б., к.б.н. (Россия, Уфа),
Валеева Э.Т., д.м.н. (Россия, Уфа),
Викторова Т.В., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Гайнуллина М.К., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Гимаева З.Ф., д.м.н. (Россия, Уфа),
Гильманов А.Ж., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Даукаев Р.А., к.б.н. (Россия, Уфа),
Ефимочкина Н.Р., д.б.н. (Россия, Москва),
Зулькарнаев Т.Р., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Кулагин А.А., д.б.н. (Россия, Уфа),

Карамова Л.М., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Каримова Л.К., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Ларионов М.В., д.б.н. (Россия, Москва),
Масягутова Л.М., д.м.н. (Россия, Уфа),
Мухаметзянов А.М., д.м.н. (Россия, Уфа),
Степанов Е.Г., к.м.н. (Россия, Уфа),
Сулейманов Р.А., д.м.н. (Россия, Уфа),
Терегулова З.С., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Туйгунов М.М., д.м.н., проф. (Россия, Уфа),
Хайров Х.С., д.м.н. (Таджикистан, Душанбе),
Шайхлисламова Э.Р., к.м.н. (Россия, Уфа),
Шарафутдинова Н.Х., д.м.н., проф. (Россия, Уфа)

Редакция:

зав. редакцией – Т.Г. Якупова
научные редакторы – д.м.н. Р.А. Сулейманов,
к.м.н. Ю.В. Рябова

переводчики – З.Р. Палютина, Г.М. Башарова
корректор – Р.Р. Ахмадиева
верстка – Т.Г. Якупова

Адрес редакции: Российская Федерация, 450106, Республика Башкортостан,
город Уфа, улица Степана Кувыкина, дом 94
Тел.: (347) 255-19-57, факс: (347) 255-56-84
E-mail: journal@uniimtech.ru

Электронная версия журнала — на сайте <http://uniimtech.ru/>

ЗАРЕГИСТРИРОВАН В ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЕ ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ СВЯЗИ, ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ 29.05.2020, НОМЕР СВИДЕТЕЛЬСТВА ЭЛ № ФС77-78392

Журнал входит в Перечень российских рецензируемых научных журналов, которые рекомендованы Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации (ВАК) для публикации результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

Основан в 2015 году. Выходит 4 раза в год.
Перепечатка текстов без разрешения редакции запрещена.
При цитировании материалов ссылка на журнал обязательна.
Возрастное ограничение: 12+. Подписано в печать: 17.06.2025
©ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», 2025

Occupational Health and Human Ecology

№2/2025

ISSN 2411-3794

Founder

Federal State-Funded Institution of Science

Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology

Editor-in-Chief – A.B. Bakirov, M.D., Professor of Medicine, Academician of the Bashkortostan Academy of Sciences – Director's Advisor Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology

Deputy Chief Editor – D.O. Karimov, PhD of Medicine

Editorial Board:

Bogdanova N.V., Ph.D. (Germany, Hanover),

Bukhtiyarov I.V., M.D., Professor of Medicine, academician of RAS (Russia, Moscow),

Khamidulina Kh.Kh., M.D., Professor of Medicine (Russia, Moscow),

Khotimchenko S.A., M.D., Professor of Medicine, Corresponding member of RAS (Russia, Moscow),

Kuzmin S.V., M.D., Professor of Medicine (Russia Moscow),

Kuzmina L.P., Doctor of Biology (Russia Moscow)

May I.V., Doctor of Biology, Professor (Russia, Perm),

Mustafina I.Z., Ph.D. (Medicine) (Russia, Moscow),

Perov S.Yu., Doctor of Biology (Russia, Moscow)

Popova A.Yu., M.D., Professor of Medicine (Russia, Moscow),

Potaturo A.V., M.D. (Russia, Yekaterinburg)

Poteryaeva E.L., M.D. (Russia, Novosibirsk),

Rakhmanin Yu.A., M.D., Professor of Medicine (Russia, Moscow),

Ryzhov A.Ya., Doctor of Biology, Professor (Russia, Tver),

Rakitsky V.N., M.D., Academician of RAS (Russia, Moscow),

Romanovich I.K., M.D., Professor of Medicine (Russia, St. Petersburg),

Sarmanaev S.Kh., M.D., Professor of Medicine (Russia, Moscow),

Semenikhin V.A., M.D. (Russia, Kemerovo)

Spirin V.F., M.D., Professor of Medicine (Russia, Saratov),

Sutunkova M.P., M.D. (Russia, Yekaterinburg),

Sychik S.I., Ph.D. (Medicine) (Belarus, Minsk),

Fatkhutdinova L.M., M.D., Professor of Medicine (Russia, Kazan),

Tutelian V.A., M.D., Professor of Medicine, acad. of RAS (Russia, Moscow),

Zaitseva N.V., M.D., Academician of RAS (Russia, Perm),

Zelenko A.V., Ph.D. (Medicine) (Belarus, Minsk)

Editorial Council:

Bagryantseva O.V. D.Sc. (Biology) (Russia, Moscow),

Bukharina I.L. D.Sc. (Biology) (Russia, Izhevsk),

Baktybaeva Z.B., Ph.D. (Biology) (Russia, Ufa),

Efimochkina N.R. D.Sc. (Biology) (Russia, Moscow),

Daukaev R.A., Cand.Sc. (Biology) (Russia, Ufa),

Gainullina M.G., M.D., Professor of Medicine (Russia, Ufa),

Gimaeva Z.F., M.D. (Russia, Ufa),

Gilmanov A.Zh., M.D. (Russia, Ufa),

Karamova L.M., M.D., Professor of Medicine (Russia, Ufa),

Karimova L.K., M.D., Professor of Medicine (Russia, Ufa),

Kulagin A.A. D.Sc. (Biology) (Russia, Ufa),

Masyagutova L.M., M.D. (Russia, Ufa),

Mukhametzyanov A.M., D.Sc. (Medicine) (Russia, Ufa)

Larionov M.V. D.Sc. (Biology) (Russia, Moscow),

Shaikhislamova E.R., Ph.D. (Medicine) (Russia, Ufa),

Sharafutdinova N.Kh., M.D., Professor of Medicine (Russia, Ufa),

Suleymanov R.A., M.D. (Russia, Ufa),

Stepanov E.G., Ph.D. (Medicine) (Russia, Ufa),

Teregulova Z.R., M.D., Professor of Medicine (Russia, Ufa),

Tuigunov M.M., M.D., Professor of Medicine (Russia, Ufa),

Khairov Kh.S., Ph.D., M.D. (Tadjikistan, Dushanbe)

Valeeva E.T., M.D. (Russia, Ufa),

Viktorova T.V., M.D., Professor of Medicine (Ufa, Russia),

Zulkarnaev T.R., M.D., Professor of Medicine (Russia, Ufa),

Editors:

Managing Editor – Yakupova T.G.

Science Editor – Suleymanov R.A., D.Sc. Medicine

Ryabova Yu.V., PhD of Medicine

Translators – Palyutina Z.R., Basharova G.M.

Proofreader – Akhmadieva R.R.

Layout – Yakupova T.G.

Editorial office: Russian Federation, 450106, Republic of Bashkortostan, 94, Kuykina Ul., Ufa.

Phone: (347) 255-19-57, fax: (347) 255-56-84

E-mail: journal@uniimtech.ru

The electronic version of the journal is on the website <http://uniimtech.ru/>

REGISTERED IN THE FEDERAL SERVICE FOR SUPERVISION IN THE FIELD OF COMMUNICATION, INFORMATION TECHNOLOGIES AND MASS COMMUNICATIONS

29.05.2020, CERTIFICATE NUMBER EL No. FS77-78392

The journal is included in the list of peer-reviewed scientific journals and publications recommended by the Higher Attestation Commission of the Russia under the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (HAC) for publishing the main scientific results of a dissertation for the degree of Candidate and Doctor of sciences.

Reprinting of texts without permission of the publisher is prohibited.

When quoting materials reference to the journal is required.

Age restriction: 12+. Signed to print 17.06.2025

СОДЕРЖАНИЕ

Гигиена труда

- 6 КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И МЕДИКО-ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОТДЕЛЬНЫХ РЕГИОНОВ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА ПО ДАННЫМ СОЦИАЛЬНО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
Ильина Л.А., Шайхлисламова Э.Р., Бакиров А.Б., Каримова Л.К., Зайдуллин И.И., Маврина Л.Н., Мулдашева Н.А., Гайнуллина М.К.
- 27 КОМБИНИРОВАННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ
Мулдашева Н.А., Каримова Л.К., Рузаков В.О., Гайнуллина М.К., Бейгул Н.А., Федорук А.А., Иващенко М.А., Маврина Л.Н., Ильина Л.А.

Медицина труда

- 45 ПОРАЖЕНИЯ ПЛЕЧА, СВЯЗАННЫЕ С ТЯЖЕСТЬЮ ТРУДОВОГО ПРОЦЕССА – СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)
Щетинина А.А.
- 63 ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА НА ПСИХИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ АНЕСТЕЗИОЛОГОВ-РЕАНИМАТОЛОГОВ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ
Войтович Н.В.

Экология

- 84 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПРИСУТСТВИЕМ ИТТРИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ
Щучинов Л.В., Кац В.Е., Савенко К.С., Новикова И.И.
- 98 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ
Дорохина О.А., Анохин А.Н.

Экспериментальные исследования

- 111 БИОПРОФИЛАКТИКА РЕПРОТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)
Сутункова М.П., Минигалиева И.А., Гертан Н.А., Петрунина Е.М., Цыпушкина Е.Е., Никогосян К.М.
- 125 ГЕНОТОКСИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ: ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК МЕТОДОМ ДНК-КОМЕТ У РАБОТНИКОВ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА
Якупова Т.Г., Валова Я.В., Репина Э.Ф., Мухаммадиева Г.Ф., Гизатуллина А.А., Каримов Д.О., Шарипова А.Р.

141

ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ НАКОПЛЕНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА
В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ КРЫС ПОСЛЕ ОДНОКРАТНОГО ВНУТРИСЕРДЕЧНОГО
ВВЕДЕНИЯ

Гизатуллина А.А., Валова Я.В., Репина Э.Ф., Якупова Т.Г., Каримов Д.Д.,
Ахмадеев А.Р.

Некролог

160

ПАМЯТИ ЗУЛЬКАРНАЕВА ТАЛГАТА РАХИМЬЯНОВИЧА

УДК 332.012.2:614.2:001.891

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И МЕДИКО-ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОТДЕЛЬНЫХ РЕГИОНОВ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА ПО ДАННЫМ СОЦИАЛЬНО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Ильина Л.А., Шайхлисламова Э.Р., Бакиров А.Б., Каримова Л.К., Зайдуллин И.И., Маврина Л.Н., Мулдашева Н.А., Гайнуллина М.К.

ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», Уфа, Россия

Одной из актуальных задач социально-гигиенического мониторинга (СГМ) является проведение региональных исследований динамики социально-экономических и медико-демографических показателей населения, в том числе трудоспособного возраста. В настоящее время, наряду со сложной геополитической обстановкой, социально-экономические факторы среды обитания оказывают решающее влияние на медико-демографические процессы в стране и ее регионах, определяют тренды состояния здоровья населения, в первую очередь работающего.

Цель исследования: комплексный анализ социально-экономического и демографического положения отдельных регионов Приволжского федерального округа (ПФО) по итогам 2023 года, а также основных медико-демографических показателей населения трудоспособного возраста за 2019-2023 гг. в целом по округу и в разрезе рассматриваемых субъектов федерации.

Материалы и методы исследования. Для исследования были использованы статистические отчёты территориальных органов Федеральной службы государственной статистик, материалы Роспотребнадзора, а также органов исполнительной власти, осуществляющих полномочия в области труда, занятости и социальной защиты населения выделенных для анализа регионов. В связи с большим объемом статистической информации оценка социально-экономического и демографического положения исследуемых регионов ПФО проводилась по итогам 2023 года в сравнении с аналогичными показателями 2022 года. Для выявления межрегиональных различий в разрезе основных социально-экономических и демографических показателей отдельных регионов округа за 2023 год был использован метод рейтингования. Результаты об изменении показателя смертности населения трудоспособного возраста по основным

классам и отдельным причинам смерти в расчете на 100 тыс. населения были получены на основе расчета роста (снижения) и прироста индикатора с использованием методов построения и анализа данных вариационного ряда. Оценка динамики коэффициентов смертности населения трудоспособного возраста за исследуемый пятилетний период была проведена методом ранжирования согласно темпам роста данного показателя, в 2023 году по отношению к его уровню в 2019 году. Расчеты и графические построения были выполнены в программных пакетах «Statistica 6.0» и «MS EXCEL» (версия Office 365: 2002 (16.0.12527.20278)).

Результаты. Проведённый комплексный анализ социально-экономического и демографического положения выделенных регионов позволил установить, что в 2023 году совокупные объемы производства в добывающих отраслях округа упали почти на треть, сокращалась численность постоянного населения (от 0,3% в Башкортостане до 0,6% в Мордовии), снижался коэффициент рождаемости (по ПФО на 1,22%; наименьшее значение показателя в Республике Мордовия – 5,9⁰/₀₀). Максимальный коэффициент естественной убыли населения был зафиксирован в Республике Мордовия (-14,12%. Снижение смертности населения происходило во всех рассматриваемых регионах: максимальное – в Республике Мордовия (-8,97%); минимальное – в Республике Башкортостан (-1,68%) и Удмуртской Республике (-2,38%), что соответствует общероссийским тенденциям. При этом тенденция снижения смертности от всех причин смерти, сложившаяся к 2019 г., под влиянием пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 в 2020-2021гг. во всех регионах приобрела резко отрицательный характер. Рейтингование регионов округа на основе данных официальной статистики и рекомендуемого перечня показателей социально-гигиенического мониторинга по итогам 2023 г. позволило выявить межрегиональные различия в разрезе основных социально-экономических и демографических показателей, определить средний рейтинг субъектов федерации: лучшая позиция у Республики Башкортостан – 4,94; худшая позиция у Республики Мордовия – 11,44. Полученная динамика показателя смертности населения трудоспособного возраста позволила проранжировать регионы согласно изменениям данного показателя в анализируемом периоде. В результате изучения динамики смертности населения трудоспособного возраста по основным классам и отдельным причинам смерти в расчете на 100 тыс. населения в целом за 2019-2023 гг. и в сравнении значений 2023 г. с доковидным 2019 г. через прирост данного показателя было установлено, что самый высокий прирост показателя от болезней органов дыхания (БОД) наблюдался в Удмуртии

(82,5%), Мордовии (29,7%) и в целом по ПФО (36,2%). Значительный прирост данного показателя вследствие болезней органов пищеварения (БОП) был выявлен в Марий Эл (31,6%), Удмуртии (29,3%), Мордовии (25,5%), Башкортостане (25,0%) и в среднем по округу (18,2%). Существенное снижение коэффициентов смертности населения в трудоспособном возрасте от причин смерти, обусловленных болезнями системы кровообращения (БСК) и злокачественными новообразованиями (ЗНО), наблюдалось в Марий Эл, и в ПФО, однако в Чувашии анализируемые индикаторы продемонстрировали положительный прирост – БСК на 10,9% и ЗНО на 10,0%. Прирост показателя смертности населения трудоспособного возраста от внешних причин был характерен для всех выделенных регионов.

Заключение. Результаты комплексного анализа и оценки межрегиональных различий в социально-экономическом и демографическом развитии, динамике медико-демографических показателей трудоспособного населения отдельных субъектов федерации, включенных в систему социально-гигиенического мониторинга (СГМ) в рамках деятельности Референс-центра, созданного на базе ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», позволят повысить качество и практическую значимость научно-методической, информационно-аналитической и консультационной помощи по организации и ведению СГМ на территориях.

Ключевые слова: социально-гигиенический мониторинг, регион, социально-экономическое положение, медико-демографические показатели, население трудоспособного возраста.

Для цитирования: Ильина Л.А., Шайхлисламова Э.Р., Бакиров А.Б., Каримова Л.К., Зайдуллин И.И., Маврина Л.Н., Мулдашева Н.А., Гайнуллина М.К. Комплексный анализ социально-экономических и медико-демографических показателей отдельных регионов Приволжского федерального округа по данным социально-гигиенического мониторинга. Медицина труда и экология человека. 2025; 2: 6-26.

Для корреспонденции: Ильина Луиза Асхатовна – канд. экон. наук, старший научный сотрудник отдела комплексных проблем гигиены и экологии человека ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека, e-mail: luiza.ilina.52@mail.ru.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10201>

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF SOCIO-ECONOMIC AND MEDICAL-DEMOGRAPHIC INDICATORS IN SELECTED REGIONS OF THE VOLGA FEDERAL DISTRICT BASED ON SOCIO-HYGIENIC MONITORING DATA

Ilyina L.A., Shaikhlislamova E.R., Bakirov A.B., Karimova L.K., Zaydullin I.I., Mavrina L.N., Muldasheva N.A., Gainullina M.K.

Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia

One of the urgent tasks of social and hygienic monitoring (SHM) is to conduct regional studies of the dynamics of socio-economic and medical-demographic indicators of the population, including the working-age population. Currently, along with the difficult geopolitical situation, socio-economic factors of the living environment have a decisive influence on medical and demographic processes in the country and its regions, determine trends in the health of the population, primarily the working population.

The objective of the study: a comprehensive analysis of the socio-economic and demographic situation of certain regions of the Volga Federal District (VFD) based on the results of 2023, as well as the main medical and demographic indicators of the working-age population between 201 and 2023 in the district as a whole and in the context of the federal subjects under consideration.

Materials and methods. The study used statistical reports from territorial bodies of the Federal State Statistics Service, materials from Rospotrebnadzor, as well as executive authorities exercising powers in the field of labor, employment and social protection of the population of the regions allocated for analysis. Due to the large volume of statistical information, the assessment of the socio-economic and demographic situation of the studied regions of the Volga Federal District was carried out based on the results of 2023 in comparison with similar indicators for 2022. To identify interregional differences in the context of the main socio-economic and demographic indicators of individual regions of the district for 2023, the rating method was used. The results on the change in the mortality rate of the working-age population by main classes and individual causes of death per 100 thousand people were obtained on the basis of calculating the growth (decrease) and increase in the indicator using the methods of constructing and analyzing variation series data. The assessment of the dynamics of mortality rates of the working-age population over the five-year period under study was carried out using the ranking method according to the growth rate of this indicator in 2023 in relation to its level in

2019. Calculations and graphical plots were performed in the software packages "Statistica 6.0" and "MS EXCEL" (Office 365 version: 2002 (16.0.12527.20278)).

Results. A comprehensive analysis of the socio-economic and demographic situation of the selected regions revealed that in 2023, the total production volumes in the extractive industries of the district fell by almost a third, the number of permanent population decreased (from 0.3% in Bashkortostan to 0.6% in Mordovia), and the birth rate decreased (in the Volga Federal District by 1.22%; the lowest value of the indicator is in the Republic of Mordovia - 5.9⁰/₀₀). The maximum rate of natural population decline was recorded in the Republic of Mordovia (-14.12%). The mortality rate decreased in all regions under consideration: the maximum was in the Republic of Mordovia (-8.97%); the minimum was in the Republic of Bashkortostan (-1.68%) and the Udmurt Republic (-2.38%), which corresponds to all-Russian trends. At the same time, the downward trend in mortality from all causes of death that had developed by 2019 became sharply negative in all regions under the influence of the COVID-19 pandemic between 2020 and 2021. The rating of the district regions based on official statistics and the recommended list of social and hygienic monitoring indicators based on the results of 2023 made it possible to identify interregional differences in terms of the main socio-economic and demographic indicators, and determine the average rating of the federal subjects: the best position was in the Republic of Bashkortostan - 4.94; the worst position was in the Republic of Mordovia - 11.44. The resulting dynamics of the mortality rate of the working-age population made it possible to rank the regions according to changes in this indicator in the analyzed period. As a result of studying the dynamics of mortality of the working-age population by the main classes and individual causes of death per 100 thousand populations as a whole between 2019 and 2023 and comparing the values of 2023 with the pre-COVID 2019 through the increase in this indicator, it was found that the highest increase in the indicator from respiratory diseases (RD) was observed in Udmurtia (82.5%), Mordovia (29.7%) and in the Volga Federal District as a whole (36.2%). A significant increase in this indicator due to diseases of the digestive system (DDS) was revealed in Mari El (31.6%), Udmurtia (29.3%), Mordovia (25.5%), Bashkortostan (25.0%) and on average in the district (18.2%). A significant decrease in mortality rates of the working-age population from causes of death due to diseases of the circulatory system (DSC) and malignant neoplasms (MN) was observed in Mari El and the Volga Federal District, however, in Chuvashia, the analyzed indicators demonstrated a positive increase - DSC by 10.9% and MN by 10.0%. The increase in the mortality rate of the working-age population from external causes was characteristic of all the selected regions.

Conclusion. The results of a comprehensive analysis and assessment of interregional differences in socio-economic and demographic development, the dynamics of medical and demographic indicators of the working-age population of individual subjects of the federation included in the system of social and hygienic monitoring (SHM) within the framework of the activities of the Reference Center, created on the basis of the Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, will improve the quality and practical significance of scientific, methodological, informational, analytical and consulting assistance in organizing and maintaining SHM in the territories.

Keywords: social and hygienic monitoring, region, socio-economic situation, medical and demographic indicators, working-age population.

For citation: Ilyina L.A., Shaikhislamova E.R., Bakirov A.B., Karimova L.K., Zaydullin I.I., Mavrina L.N., Muldasheva N.A., Gainullina M.K. Comprehensive analysis of socio-economic and medical-demographic indicators in selected regions of the Volga Federal District based on socio-hygienic monitoring data. Occupational Medicine and Human Ecology. 2025; 2: 6-26.

Correspondence: Ilyina Luiza Askhatovna – Ph.D. economy Sci., Senior Researcher, Department of Complex Problems of Hygiene and Human Ecology, Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, e-mail: luiza.ilina.52@mail.ru.

Funding: the study had no financial support.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10201>

Цель исследования: комплексный анализ социально-экономического и демографического положения отдельных регионов Приволжского федерального округа (ПФО) по итогам 2023 года, а также основных медико-демографических показателей населения трудоспособного возраста за 2019-2023 гг. в целом по округу и в разрезе рассматриваемых субъектов федерации.

Материалы и методы исследования. Для исследования были использованы статистические отчёты территориальных органов Федеральной службы государственной статистик, материалы Роспотребнадзора, а также органов исполнительной власти, осуществляющих полномочия в области труда, занятости и социальной защиты населения выделенных для анализа регионов. В связи с большим объемом статистической информации оценка социально-экономического и демографического положения исследуемых регионов

проводилась по итогам 2023 года в сравнении с аналогичными показателями 2022 года. Для выявления межрегиональных различий в разрезе основных социально-экономических и демографических показателей за 2023 год был использован метод рейтингования. Значения изменений показателя смертности населения трудоспособного возраста по основным классам и отдельным причинам смерти в расчете на 100 тыс. населения были получены на основе расчета роста (снижения) и прироста индикатора с использованием методов построения и анализа данных вариационного ряда. Оценка динамики коэффициентов смертности населения трудоспособного возраста за пятилетний период была проведена методом ранжирования согласно темпам роста данного показателя, в 2023 году по отношению к его уровню в 2019 году. Расчеты и графические построения были выполнены в программных пакетах «Statistica 6.0» и «MS EXCEL» (версия Office 365: 2002 (16.0.12527.20278)).

Социально-гигиенический мониторинг (СГМ) как основной инструмент оценки, анализа и прогноза санитарно-эпидемиологической обстановки и выявления причинно-следственных связей между состоянием здоровья населения и воздействием факторов среды обитания, является одним из приоритетных механизмов реализации новых национальных и федеральных проектов, стратегий и программ как в целом в Российской Федерации, так и на ее территориях^{1, 2}.

В соответствии с приказом Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 30.11.2023 г. № 869 «О референс-центрах социально-гигиенического мониторинга» в январе 2024 года на базе основных научных структурных подразделений ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» на функциональной основе был создан Референс-центр социально-гигиенического мониторинга (далее – референс-центр)³, деятельность которого направлена на оказание научно-методической, информационно-аналитической и консультационной помощи по организации и ведению СГМ в целях повышения его качества, эффективности и результативности для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия

¹ Федеральный закон от 30 марта 1999 г. N 52-ФЗ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" (с изменениями и дополнениями). <https://base.garant.ru/12115118/>

Постановление Правительства РФ от 2 февраля 2006 г. N 60 "Об утверждении Положения о проведении социально-гигиенического мониторинга" (с изменениями и дополнениями). <https://base.garant.ru/12144791/>

² Концепции развития системы социально-гигиенического мониторинга в Российской Федерации в период до 2030 года.

https://fcgie.ru/download/fif_sgm/Приказ%20Федеральной%20службы%20по%20надзору%20в%20сфере%20защиты%20прав%20потребителей%20и%20благополучия%20человека%20от%2026.08.2019%20г.%20№%20665%20Об%20утверждении%20концепции%20развития%20СГМ.pdf

³ Приказ Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 30 ноября 2023 г. N 869 "О референс-центрах социально-гигиенического мониторинга". <https://base.garant.ru/409614387/>

населения и управления рисками на территориях 5 субъектов ПФО: Республики Башкортостан, Республики Марий Эл, Чувашской Республики, Удмуртской Республики, Республики Мордовия.

Одним из востребованных направлений деятельности референс-центра является изучение и анализ медико-демографической ситуации, показателей здоровья населения и социально-экономического состояния территорий, обобщение регионального опыта в рамках организации взаимодействия с территориальными органами и учреждениями Роспотребнадзора на прикрепленных территориях и формирование баз данных на основе проведения систематических наблюдений⁴.

Как неоднократно отмечалось в Государственных докладах «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации», научных исследованиях и публикациях отечественных ученых в последнее время именно социально-экономические факторы оказывали существенное влияние на формирование здоровья населения, в том числе трудоспособного: от 62,8% до 58,3% в 2022 и 2023 годах соответственно [1-15].

Анализу социально-экономических детерминант демографических процессов и формирования здоровья населения посвящено значительное число работ зарубежных авторов [16-20].

В последние десятилетия в стране и большинстве регионов сложилась тенденция сокращения численности населения трудоспособного возраста, возникшая как вследствие высокой смертности в 90-х годах прошлого столетия, так и воздействия новых геополитических факторов, что свидетельствует о востребованности и актуальности изучения вопросов сохранения и укрепления здоровья трудоспособного населения.

Результаты и обсуждение. Для достижения целей исследования был проведен анализ социально-экономического положения и медико-демографических характеристик населения ПФО по итогам 2023 года, а также смертности населения трудоспособного возраста в ретроспективе за пять лет (2019-2023 гг.) по округу и в разрезе отдельных его регионов, включенных в систему социально-гигиенического мониторинга в рамках деятельности референс-центра.

Приволжский федеральный округ вносит значительный вклад в экономику России в области добычи полезных ископаемых – доля округа составляет 15,0%, обрабатывающих производств – 19,6%, обеспечения электрической энергией,

⁴ Приказ Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 20 сентября 2010 г. N 341 "Об утверждении методических рекомендаций по социально-гигиеническому мониторингу" Приложение. Методические рекомендации "Социально-гигиенический мониторинг. Анализ медико-демографических и социально-экономических показателей на региональном уровне".
<https://docs.cntd.ru/document/902236566/titles>

газом и паром, кондиционирование воздуха – 16,7% водоснабжения, водоотведения, организации сбора и утилизации отходов, деятельности по ликвидации загрязнений – 17,7 %.

Снижение объемов производства в 2023 г. – один из значимых негативных трендов в промышленных отраслях ПФО по добыче полезных ископаемых (-30,12%), что во многом обусловлено западными санкциями.

В 2023 г. по сравнению с 2022 г. в анализируемых регионах продолжалось снижение численности постоянного населения, от 0,6% в Республике Мордовия до 0,29% в Республике Башкортостан.

По итогам 2023 г. коэффициент рождаемости снизился по округу на 1,22%; наименьшее значение показателя зафиксировано в Республике Мордовия – 5,9⁰/₀₀. Республика Башкортостан, являющаяся лидером в данной группе регионов, также ухудшила позиции – коэффициент рождаемости сократился с 8,9⁰/₀₀ до 8,7⁰/₀₀ (табл. 1).

Таблица 1. Общий коэффициент рождаемости населения в отдельных регионах ПФО, чел. на 1000 чел. населения

Table 1. Total birth rate of the population in individual regions of the Volga Federal District, people per 1000 people of the population

Регион	Коэффициент рождаемости населения в регионах ПФО, чел. на 1000 чел. населения		Темп роста 2023 г. к 2022 г., %
	2022 г.	2023 г.	
Республика Башкортостан	8,9	8,7	97,75
Республика Марий Эл	8,4	8,0	95,24
Республика Мордовия	6,0	5,9	98,33
Удмуртская Республика	8,8	8,5	96,59
Чувашская Республика	8,4	8,1	96,43
Приволжский федеральный округ	8,2	8,1	98,78

В рассматриваемых регионах, как в России в целом, происходило снижение смертности населения. При этом максимальное снижение коэффициента смертности в 2023 г. по сравнению с уровнем 2019 г. наблюдалось в Республике Мордовия -8,97%; минимальное снижение – в Башкортостане -1,68% и Удмуртии -2,38%.

Однако положительная тенденция снижения смертности от всех причин смерти, сложившаяся к 2019 г., под влиянием пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19, в 2020-2021гг. во всех регионах приобрела резко отрицательный характер (табл. 2).

Таблица 2. Коэффициент естественного прироста (убыли) населения в отдельных регионах ПФО, чел. на 1000 чел. населения

Table 2. Natural population growth (decline) rate in individual regions of the Volga Federal District, people per 1000 people

Регион	Коэффициент естественного (прироста) населения в регионах ПФО, чел. на 1000 чел. населения		Темп роста 2023 г. к 2022 г., %
	2022 г.	2023 г.	
Республика Башкортостан	-5,0	-5,0	100,00
Республика Марий Эл	-4,4	-4,4	100,00
Республика Мордовия	-8,5	-7,3	85,88
Удмуртская Республика	-3,8	-3,8	100,00
Чувашская Республика	-4,9	-4,4	89,80
Приволжский федеральный округ	-5,4	-4,9	90,74

Снижение коэффициента естественной убыли населения в 2023 г. по сравнению с уровнем 2019 г. было зафиксировано в Республике Мордовия (-14,12%), что почти на 5% выше среднего значения по округу, а также в Чувашской Республике (-10,2%). В Республике Башкортостан, Республике Марий Эл, Удмуртской Республике коэффициент естественной убыли населения сохранялся на уровне предыдущего года.

Для оценки межрегиональных различий на основе данных официальной статистики и рекомендуемого перечня показателей социально-гигиенического мониторинга было выполнено рейтингование всех регионов ПФО по итогам социально-экономического и демографического развития в 2023 году. Рейтинг каждого анализируемого региона по 21 показателю и его среднее значение приведены в таблице 3, где дробь означает разделяемые территориями позиции по конкретному индикатору.

Таблица 3. Рейтинг отдельных регионов ПФО по основным показателям социально-экономического и демографического развития в 2023 г.

Table 3. Rating of individual regions of the Volga Federal District according to the main indicators of socio-economic and demographic development in 2023

Показатель	Республика Башкортостан	Республика Марий Эл	Республика Мордовия	Удмуртская Республика	Чувашская Республика
Численность населения (на 01.01.2024)	1	14	13	8	11
Естественный прирост	2	5/6	12	3	5/6
Миграционный прирост	9	3	6	14	10
Численность трудовых ресурсов	2	14	13	8	12
Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	4	10	2	8	5
Среднедушевые денежные доходы населения	5	13	14	7	12
Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций	3	11	14	7	8
Уровень безработицы	11	1	8/9	12	8/9
Индекс промышленного производства	10	2	9	7	1

Продолжение таблицы 3 / Continuation of Table 3.

Показатель	Республика Башкортостан	Республика Марий Эл	Республика Мордовия	Удмуртская Республика	Чувашская Республика
------------	----------------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------

Индекс производства продукции сельского хозяйства	14	3	12	6	5
Оборот розничной торговли в расчете на душу населения	3	14	13	9	12
Объем платных услуг, предоставляемых населению, в расчете на душу населения	4	14	12	7	10
Ввод жилья в эксплуатацию	2	13	14	6	11
Грузооборот автомобильного транспорта	3	14	6	9	13
Индексы потребительских цен и тарифов на услуги	1	19	7	12	2
Инвестиции в основной капитал в расчете на душу населения	6	14	12	8	9
Число малых и средних предприятий	2	14	13	7	10
Обеспеченность внутренними структурными подразделениями коммерческих банков	2	14	13	9	11
Число зарегистрированных преступлений	2	13	14	7	11
Средний рейтинг	4,94	11,29	11,44	8,59	9,12

Необходимо отметить, что среди анализируемых регионов нет ни одного, который бы занимал только лидирующие (ближе к 1) или аутсайдерские (ближе к 14) позиции по всем учитываемым при составлении рейтинга показателям, тем не

менее по лучшему значению среднего рейтинга (от меньшего к большому) субъекты расположились следующим образом: Республика Башкортостан, Удмуртская Республика, Чувашская Республика, Республика Марий Эл и Республика Мордовия.

Среди анализируемых регионов наиболее слабые позиции у Республики Мордовия, экономика которой характеризуется небольшим объемом промышленного производства и инвестиционных ресурсов; низкий уровень жизни сказывается на неблагоприятной демографической ситуации, формирующей дефицит рабочей силы. Хотя республика по итогам 2023 года показала неплохие темпы развития (рост промышленного производства 108%, инвестиций – 112,5%), это в большей степени являлось эффектом низкой базы предыдущих лет.

В анализируемые годы в регионах происходил незначительный рост численности трудоспособного населения, преимущественно вследствие повышения пенсионного возраста, что соответствует общероссийскому тренду. Наиболее высокие темпы роста данного показателя за пятилетие к уровню 2023 г. наблюдались в Республике Башкортостан – 104,8 и 100,2% соответственно. В республиках Марий Эл, Мордовия и Удмуртия происходили незначительные колебания показателя. В Республике Чувашия после пятилетней положительной динамики и роста показателя на 13,5%, в 2023 г. по отношению к предыдущему году он снизился на 3,0% (табл. 4).

Таблица 4. Численность населения трудоспособного возраста в отдельных регионах ПФО за 2019-2023 гг.¹⁾, тыс. чел., %²⁾

Table 4. The number of working-age population in individual regions of the Volga Federal District for 2019-2023¹⁾, thousand people, %²⁾

	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Средн. многолет.	2023 г. к 2019 г., %	2023 г. к 2022 г., %
Башкортостан	2225,2	2253,3	2221,8	2328,5	2332,9	2275,2	104,8	100,2
Марий Эл	367,5	373,3	367,3	376,4	376,7	371,5	101,1	100,0
Мордовия	447,9	452,9	442,5	448,2	443,9	447,9	100,1	0,99
Удмуртия	813,5	823,8	814,8	806,3	807,7	814,6	100,1	100,0
Чувашия	572,9	680,8	669,8	677,9	656,4	650,4	113,5	0,97

1) на 01.01. соответствующего года / as of 01.01 of the corresponding year

2) доля населения трудоспособного возраста в численности населения региона
the share of the working-age population in the region's population

Установлено, что в течение 5-летнего период в регионах росла смертность населения трудоспособного возраста. Ранжирование регионов в соответствии с

темпами роста интенсивного показателя смертности населения трудоспособного возраста представлено в таблице 5.

Таблица 5. Смертность населения трудоспособного возраста в отдельных регионах ПФО за период 2019-2023 гг. (на 100 тыс. населения), человек

Table 5. Mortality of the working-age population in individual regions of the Volga Federal District for the period 2019-2023 (per 100,000 population), people

	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2023 г. к 2019 г., %	Ранг*)
Башкортостан	519,8	596,8	633,8	555,9	595,1	114	5
Марий Эл	527,8	584,5	679,6	616,3	667,2	126	1
Мордовия	456,7	542,7	631,1	535,4	572,1	125	2
Удмуртия	535,4	597,4	644,8	597,1	637,5	119	4
Чувашия	536,3	630,7	686,1	611,3	645,1	120	3
ПФО	520,4	591,9	657,1	576,9	614,6	118	-

*) наименьшему значению ранга соответствует худший показатель

Максимальный рост смертности трудоспособного населения в 2023 году по сравнению с 2019 годом наблюдался в Республике Марий Эл – на 26%, что на 12% выше лучшего показателя по Республике Башкортостан и на 8% показателя в ПФО. Основными причинами смерти населения трудоспособного возраста в анализируемых регионах в 2019-2023 гг. были болезни системы кровообращения (БСК), злокачественные новообразования (ЗНО) и болезни органов дыхания (БОД), на которые приходилось до 81,1% смертей.

В 2020-2021 гг. в условиях пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 во всех выделенных регионах регистрировался значительный рост смертности трудоспособного населения от БСК и БОД.

Высокая смертность от БСК, а также рост данного показателя к уровню 2019 года, наблюдались в Чувашии (2021 г. – 634,64⁰/₀₀₀₀; рост в 1,29 раза), Удмуртии Республике (2020 г. – 619,8⁰/₀₀₀₀; рост в 1,19 раза). В среднем за 2020-2021 гг. показатель смертности от БСК в регионах вырос в 1,21 раза.

Смертность от БОД в 2021 г. достигала максимального уровня в Мари-Эл и в Башкортостане – 230,21⁰/₀₀₀₀ и 217,42⁰/₀₀₀₀ соответственно, а минимального в Удмуртии – 72,72⁰/₀₀₀₀.

В выделенных регионах в условиях пандемии COVID-19 (2020-2021 гг.) смертность населения трудоспособного возраста от ЗНО либо снижалась (Башкортостан, Удмуртия), либо сохранялась на уровне показателей 2019 года (рис. 1).



Рисунок 1. Смертность населения трудоспособного возраста по основным классам и отдельным причинам смерти в расчете на 100 тыс. населения в анализируемых субъектах ПФО за 2019-2023 гг.

Figure 1. Mortality rate of the working-age population by main classes and individual causes of death per 100 thousand populations in the analyzed subjects of the Volga Federal District for 2019-2023

Динамика смертности населения трудоспособного возраста по основным классам и отдельным причинам смерти в расчете на 100 тыс. населения, полученная на основе расчета роста (снижения) индикатора и установления величины прироста (2023 г. по отношению к 2019 г.) с использованием методов построения и анализа данных вариационного ряда, приведена на рисунке 2.

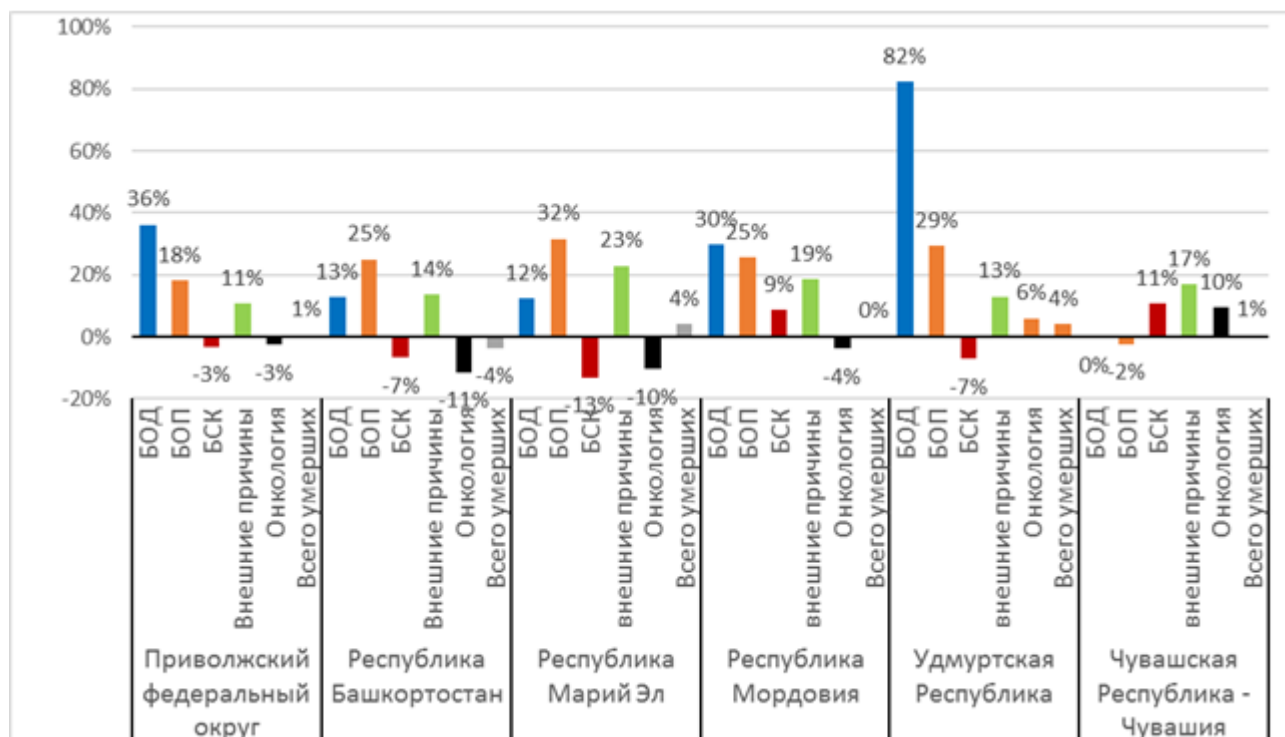


Рисунок 2. Прирост показателя смертности населения трудоспособного возраста по основным классам и отдельным причинам смерти в расчете на 100 тыс. населения в отдельных субъектах ПФО (2023 г. к 2019г.), %

Figure 2. Increase in the mortality rate of the working-age population by main classes and individual causes of death per 100 thousand populations in individual subjects of the Volga Federal District (2023 to 2019), %

Выявлено, что самый высокий прирост показателя смертности населения трудоспособного возраста от БОД наблюдался в Удмуртии (82,5%), Мордовии (29,7%) и в целом по ПФО (36,2%). Прирост в пределах 10% был зафиксирован в Башкортостане и Марий Эл, а в Чувашии показатель сравнялся с доковидным уровнем. В анализируемом периоде рассматриваемый индикатор в динамике не показал снижения ни в одном из выделенных регионов.

Анализ показал, что значительный прирост показателя смертности населения трудоспособного возраста от болезней органов пищеварения (БОП) был выявлен в Марий Эл (31,6%), Удмуртии (29,3%), Мордовии (25,5%), Башкортостане (25,0%) и в среднем по округу (18,2%). При этом в Чувашии в 2023 году данный показатель снизился на 0,2% по сравнению с его уровнем в 2019 году.

Снижение смертности взрослого населения от болезней системы кровообращения (БСК) и онкологических заболеваний (ЗНО) наблюдалось в последние годы в стране и большинстве регионов за счет повышения эффективности мер по борьбе с этими заболеваниями.

Установлено, что существенное снижение коэффициентов смертности населения в трудоспособном возрасте от причин смерти, обусловленных БСК и ЗНО, наблюдалось в Марий Эл (-13,2% и -10,4% соответственно), Башкортостане (-8,5% и -11,5% соответственно) и в ПФО (-3,2% и -2,7% соответственно). Разнонаправленные изменения данных показателей были отмечены в Мордовии (8,8% и -3,8% соответственно) и Удмуртии (-7,2% и 6,0% соответственно). Однако в Чувашии анализируемые индикаторы продемонстрировали рост – БСК на 10,9% и ЗНО на 10,0%.

Прирост показателя смертности населения трудоспособного возраста от внешних причин (ВП) был характерен для всех выделенных субъектов федерации и находился в интервале от 13,0% в Удмуртии до 22,9% в Марий Эл, а в округе он составлял 10,7%.

В 2023 году по сравнению с 2019 годом снижение числа умершего населения трудоспособного возраста на 100 тыс. населения наблюдалось в Республике Башкортостан (-3,5%); в остальных рассматриваемых регионах прирост показателя не превышал 4,0%.

Необходимо отметить, что при выполнении анализа авторы не проводили сравнение показателей медико-демографических характеристик населения трудоспособного возраста 5-ти выделенных регионов с их значениями по ПФО, так как последние отражали усредненную ситуацию по всем 14-ти субъектам федерации, выходящим в округ, что было бы методологически ошибочно.

Также авторы не акцентировали проблему сверхсмертности населения регионов ПФО, в том числе трудоспособного, в условиях пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19, поскольку она была рассмотрена авторами в более ранних публикациях.

Заключение. Проведенный комплексный анализ социально-экономического и демографического положения отдельных регионов Приволжского федерального округа по итогам 2023 года, а также основных медико-демографических показателей населения трудоспособного возраста за 2019-2023 гг. в целом по округу и в разрезе рассматриваемых субъектов федерации дает основание утверждать о наличии неблагоприятных тенденций в рассматриваемых областях. Выявленный в рамках сравнительного анализа (данные 2023 г. к показателям 2019 г.) аномальный рост смертности населения трудоспособного возраста от БОД в Республике Удмуртия (82,5%) и Республике Мордовия (29,7%) требует дальнейших более углубленных исследований структуры смертности и основных факторов, оказывающих влияние на изменение данного показателя.

Также требует пристального внимания и изучения значительный прирост показателя смертности населения трудоспособного возраста от БОП в Марий Эл (31,6%), Удмуртии (29,3%), Мордовии (25,5%) и Башкортостане (25,0%).

Для принятия управленческих решений на различных уровнях региональной власти и профильных структур требуется организация на регулярной основе обобщение результатов исследований и обмен опытом по формированию и ведению аналитических баз данных по социально-экономическим и медико-демографическим показателям отдельных регионов Приволжского федерального округа, включенным в систему наблюдения Референс-центра социально-гигиенического мониторинга, созданного на базе ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека».

Список литературы:

1. Балашова С.А., Захарчук А.Р., Сидоренко М.В. Оценка взаимосвязи уровня социально-экономического развития с уровнем смертности в регионах РФ. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. 2020; 28(1): 83–97. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2329-2020-28-1-83-97>.
2. Будаев Б.С., Банзарова Л.П., Богданова О.Г., Тармаева И.Ю. Основные факторы преждевременной смертности трудоспособного населения. Гигиена и санитария. 2021; 100 (2): 166-171. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-166-171>.
3. Бухтияров И.В., Тихонова Г.И., Бетц К.В., Брылёва М.С., Горчакова Т.Ю., Чуранова А.Н. Заболеваемость, инвалидность и смертность населения трудоспособного возраста в России. Медицина труда и промышленная экология. 2022; 62(12): 791-6. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-12-791-796>.
4. Васильева Т.П., Ларионов А.В., Русских С.В., Зудин А.Б., Горенков Р.В., Васильев М.Д., Костров А.А., Хапалов А.А. Методический подход к организации мониторинга общественного здоровья Российской Федерации. Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. 2022; (7): 7-17. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-7-7-17>.
5. Горошко Н.В., Пацала С.В., Емельянова Е.К. Смертность трудоспособного населения России в условиях пандемии COVID-19. Социальные аспекты здоровья населения [сетевое издание]. 2022; 68(5): 1. Режим доступа: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1411/30/lang,ru/>. DOI:10.21045/2071-5021-2022-68-5-1.
6. Зайцева Н.В., Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Клейн С.В., Кирьянов Д.А., Глухих М.В. Социально-экономические детерминанты и потенциал роста ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации с учетом региональной дифференциации. Анализ риска здоровью. 2019; 4: 14–29. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.02.
7. Клепиков О. В., Епринцев С. А., Шекоян С. В. Анализ данных социально-гигиенического мониторинга регионов России, определяющих эколого-гигиеническую безопасность населения. Санитарный врач. 2020;1. DOI:10.33920/med-08-2001-08.
8. Короленко А.В., Калачикова О.Н. Детерминанты здоровья работающего населения: условия и характер труда // Здоровье населения и среда обитания. 2020; 11 (332): 22–30. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-332-11-22-30>.

9. Молчанова Е.В. Оценка влияния социально-экономического развития на региональные демографические процессы. Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019; 4-2: 252-8; URL: <https://vaael.ru/ru/article/view?id=437>.
10. Попова А.Ю., Кузьмин С.В., Гурвич В.Б., Козловских Д.Н., Романов С.В., Диконская О.В., Малых О.Л., Кузьмина Е.А., Ярушин С.В. Информационно-аналитическая поддержка управления риском для здоровья населения на основе реализации концепции развития системы социально-гигиенического мониторинга в Российской Федерации на период до 2030 года. Здоровье населения и среда обитания. 2019; 9 (318):4–12. DOI: <http://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-318-9-4-12>.
11. Семенова В.Г., Сабгайда Т.П., Зубко А.В., Евдоушкина Г.Н. Потери населения России трудоспособного возраста в стабильные и кризисные периоды в контексте основных факторов риска. Социальные и гуманитарные знания. 2023; 9(1): 84-101.
12. Смольницкая Н. Ю. Общественное здоровье как социально-экономическая категория и методологический подход к изучению социального здоровья населения малых городов. Вестник Ивановского государственного университета. Серия: Экономика. 2023; 57(3): 22-34.
13. Цунина Н.М., Жернов Ю.В. Алгоритм применения результатов социально-гигиенического мониторинга на региональном уровне. Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2016; 24 (1): 77-81. DOI: 10.1016/0869-866X-2016-24-2-77-81.
14. Шайхлисламова Э. Р., Бакиров А. Б., Каримова Л. К., Ильина Л. А., Мулдашева Н. А., Шаповал И. В. Здоровье работающего населения Республики Башкортостан: состояние и пути его сохранения. Медицина труда и экология человека. 2024; 2: 84-91.
15. Щур А. Е., Соколова В. В., & Тимонин С. А. (2023). Смертность трудоспособного населения России в начале XXI века: есть ли повод для оптимизма? Демографическое обозрение. 10(4), 4-51. <https://doi.org/10.17323/demreview.v10i4.18807>.
16. Barakat C., Konstantinidis T. A Review of the Relationship between Socioeconomic Status Change and Health. Int J Environ Res Public Health. 2023; 20(13): 6249. doi: 10.3390/ijerph20136249.
17. Cundiff J.M., Boylan J.M., Pardini D.A., Matthews K.A. Moving up matters: Socioeconomic mobility prospectively predicts better physical health. Health Psychol. 2017; 36: 609–617. doi: 10.1037/hea0000473.
18. Kolomiiets, S., Buriak, A., & Fritsak, M. Transparency of social-economic determinants in developing the efficient public healthcare system. Health Economics and Management Review. 2023; 2: 61-73. doi: <https://doi.org/10.21272/hem.2023.2-06>.
19. Woolf SH, Braveman P. Where health disparities begin: the role of social and economic determinants – and why current policies may make matters worse. Health Aff. 2021; 30(10): 1852-1859.
20. WHO. WHO resolution WHA74.16, Social-economic determinants of health. 2021. https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA74/A74_R16-en.pdf.

References:

1. Balashova, S.A., Zakharchuk, A.R., Sidorenko M.V. Estimates of the interrelation of the level of socio-economic development and the mortality rate in Russian regions. Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekonomika. 2020; 28(1): 83–97. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2329-2020-28-1-83-97> (In Russ).
2. Budaev B.S., Banzarova L.P., Bogdanova O.G., Tarmaeva I.Yu. The main factors of premature mortality of the working-age population. Gigiena i Sanitariya. 2021; 100 (2): 166-171. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-100-2-166-171> (In Russ).

3. Bukhtiyarov I.V., Tikhonova G.I., Betts K.V., Bryleva M.S., Gorchakova T.Yu., Churanova A.N. Morbidity, disability and mortality of the working-age population in Russia. *Medsitsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2022; 62(12): 791-6. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-12-791-796> (In Russ).
4. Vasilieva T.P., Larionov A.V., Russkikh S.V., Zudin A.B., Gorenkov R.V., Vasiliev M.D., Kostrov A.A., Khapalov A.A. Methodological Approach to Organizing Public Health Monitoring in the Russian Federation. *Public Health and Life Environment – PH&LE*. 2022;(7):7-17. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-7-7-17> (In Russ).
5. Goroshko N.V., Patsala S.V., Emelyanova E.K. Mortality of the working population in Russia under the conditions of the COVID-19 pandemic. *Social'nye aspekty zdorov'a naselenia* [serial online]; 2022; 68(5): 1. Available from: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1411/30/lang,ru/>. DOI: 10.21045/2071-5021-2022-68-5-1 (In Russ).
6. Zaitseva N.V., Onishchenko G.G., Popova A.Yu., Kleyn S.V., Kiryanov D.A., Glukhikh M.V. Social and economic determinants and potential for growth in life expectancy of the population in the Russian federation taking into account regional differentiation. *Health Risk Analysis*. 2019; 4: 14–29. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.02 (In Russ).
7. Klepikov O. V., Eprintsev S. A., Shekoyan S. V. Analysis of data from social and hygienic monitoring of Russian regions that determine the ecological and hygienic safety of the population. *Sanitarny Vrach*. 2020; 1. DOI: 10.33920/med-08-2001-08 (In Russ).
8. Korolenko A.V., Kalachikova O.N. Determinants of health of the working population: conditions and nature of work. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020; (11(332)): 22–30. DOI: <https://doi.org/10.35627/22195238/2020-332-11-22-30> (In Russ).
9. Molchanova E.V. Assessment of the impact of social and economic development on regional demographic processes. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava*. 2019; 4-2: 252-8. URL: <https://vaael.ru/ru/article/view?id=437> (In Russ).
10. Popova A.Yu., Kuzmin S.V., Gurvich V.B., Kozlovskikh D.N., Romanov S.V., Dikonskaya O.V., Malykh O.L., Kuzmina E.A., Yarushin S.V. Information and analytical support for public health risk management based on the implementation of the concept for the development of a social and hygienic monitoring system in the Russian Federation until 2030. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2019; 9 (318): 4–12. DOI: <http://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-318-9-4-12> (In Russ).
11. Semenova V.G., Sabgaida T.P., Zubko A.V., Evdokushkina G.N. Losses of the working-age population of Russia in stable and crisis periods in the context of the main risk factors. *Sotsialnye i gumanitarnye znaniya*. 2023; 9(1): 84-101. (In Russ).
12. Smolnitskaya N. Yu. Public health as a socio-economic category and a methodological approach to the study of social health of the population of small cities. *Vestnik Ivanovskogo gosuniversiteta. Seriya: Ekonomika*. 2023;57(3):22-34. (In Russ).
13. Tsunina N.M., Zhernov Yu.V. Algorithm for applying the results of social and hygienic monitoring at the regional level. *Problemy sotsialnoy gigieny, zdavookhraneniya i istorii meditsiny*. 2016; 24 (1): 77–81. DOI: 10.1016/0869-866X-2016-24-2-77-81 (In Russ).
14. Shaikhislamova E.R., Bakirov A.B., Karimova L.K., Muldasheva N.A., Ilyina L.A., Shapoval I.V. Health of the working population of the Republic of Bashkortostan: current state and ways of maintenance. *Medsitsina truda i ekologiya cheloveka*. 2020; 2; 84-91. (In Russ).
15. Shchur, A. E., Sokolova, V. V., & Timonin, S. A. (2023). Mortality of the working-age population of Russia at the beginning of the 21st century: is there a reason for optimism? *Demographicheskoe obozrenie*. 10(4), 4-51. <https://doi.org/10.17323/demreview.v10i4.18807> (In Russ).

16. Barakat C., Konstantinidis T. A Review of the Relationship between Socioeconomic Status Change and Health. *Int J Environ Res Public Health*. 2023; 20(13): 6249. doi: 10.3390/ijerph20136249.
17. Cundiff J.M., Boylan J.M., Pardini D.A., Matthews K.A. Moving up matters: Socioeconomic mobility prospectively predicts better physical health. *Health Psychol*. 2017; 36: 609–617. doi: 10.1037/hea0000473
18. Kolomiiets, S., Buriak, A., & Fritsak, M. Transparency of social-economic determinants in developing the efficient public healthcare system. *Health Economics and Management Review*. 2023; 2: 61-73. doi: <https://doi.org/10.21272/hem.2023.2-06>.
19. Woolf SH, Braveman P. Where health disparities begin: the role of social and economic determinants – and why current policies may make matters worse. *Health Aff*. 2021; 30(10): 1852-1859.
20. WHO. WHO resolution WHA74.16, Social-economic determinants of health. 2021. https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA74/A74_R16-en.pdf.

Поступила/Received: 16.05.2025

Принята в печать/Accepted: 19.05.2025

УДК 349.24:331.43:613.63

КОМБИНИРОВАННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Мулдашева Н.А.¹, Каримова Л.К.¹, Рузаков В.О.², Гайнуллина М.К.¹, Бейгул Н.А.^{1,3},
Федорук А.А.², Иващенко М.А.², Маврина Л.Н.¹, Ильина Л.А.¹

¹ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», Уфа, Россия

²ФБУН «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны
здоровья промпредприятий» Роспотребнадзора, Екатеринбург, Россия

³ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
Уфа, Россия

Одной из ключевых задач гигиены является оценка эффектов на живые организмы, реализуемых в результате комбинированного воздействия нескольких химических веществ.

Цель исследования - оценка условий труда по химическому фактору в условиях различных производств при одновременном присутствии в воздухе рабочей зоны вредных веществ, обладающих эффектом суммации.

Материал и методы. Гигиенические исследования проведены на производствах стирола, кокса и свинца из вторичного сырья общепринятыми методами. Детально были изучены условия труда по химическому фактору на рабочих местах аппаратчика производства стирола, газовщика коксовых печей производства кокса и плавильщика производства свинца из вторичного сырья.

Результаты. Оценка условий труда по химическому фактору с учетом комбинации вредных веществ с однонаправленным механизмом действия и эффектом суммации существенно изменила итоговую оценку условий труда аппаратчиков производства стирола, газовщиков коксовых печей и плавильщика в производстве свинца из вторичного сырья на две позиции – с класса 3.1 до 3.3.

Следовательно, объективная оценка по химическому фактору позволила дать достоверную информацию об условиях труда работников изучаемых производств.

Ключевые слова: условия труда, химический фактор, комбинированное воздействие, вредные вещества.

Для цитирования: Мулдашева Н.А., Каримова Л.К., Рузаков В.О., Гайнуллина М.К., Бейгул Н.А., Федорук А.А., Иващенко М.А., Маврина Л.Н., Ильина Л.А.

Комбинированное воздействие химических веществ в условиях различных производств. Медицина труда и экология человека. 2025; 2: 27-44.

Для корреспонденции: Каримова Лилия Казымовна – д.м.н., главный научный сотрудник отдела комплексных проблем гигиены и экологии человека ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека, e-mail: iao_karimova@rambler.ru.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10202>

COMBINED EXPOSURE TO CHEMICALS IN VARIOUS INDUSTRIAL CONDITIONS

Muldasheva N.A.¹, Karimova L.K.¹, Ruzakov V.O.², Gainullina M.K.¹, Beigul N.A.^{1,3}, Fedoruk A.A.², Ivashchenko M.A.², Mavrina L.N.¹, Ilyina L.A.¹

¹Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia.

²Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection among Industrial Workers, Yekaterinburg, Russia.

³Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

One of the key tasks of hygiene is to assess the effects on living organisms that occur as a result of the combined effect of several chemicals.

The purpose of the study is to assess working conditions by the chemical factor in various production conditions with the simultaneous presence of harmful substances in the air of the working area that have a summation effect.

Material and methods. Hygienic studies were conducted at styrene, coke and lead production facilities using generally accepted methods. The working conditions by the chemical factor were studied in detail at the workplaces of a styrene production operator, a coke oven gasman in coke production and a smelter in lead production from secondary raw materials.

Results. The assessment of working conditions by the chemical factor, taking into account the combination of harmful substances with a unidirectional mechanism of action and the summation effect, significantly changed the final assessment of the working conditions of styrene production operators, coconut oven gasmen and a smelter in lead production from secondary raw materials by two positions - from class 3.1 to 3.3.

Therefore, an objective assessment of the chemical factor made it possible to provide reliable information about the working conditions of workers in the studied industries.

Keywords: working conditions, chemical factor, combined effects, harmful substances.

For citation: Muldasheva N.A., Karimova L.K., Ruzakov V.O., Gainullina M.K., Beigul N.A., Fedoruk A.A., Ivashchenko M.A., Mavrina L.N., Ilyina L.A. Combined exposure to chemicals in various industrial conditions. Occupational Medicine and Human Ecology. 2025; 2: 22-44.

Correspondence: Liliya K. Karimova – Doct. Sc. (Medicine), Chief Researcher, Department of Complex Problems of Hygiene and Human Ecology, Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, e-mail: iao_karimova@rambler.ru.

Funding: The study had no financial support.

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

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10202>

Одной из ключевых задач гигиены является оценка эффектов на живые организмы, реализуемых в результате комбинированного воздействия нескольких химических веществ. Оценка токсичности химических смесей сопряжена с большими трудностями в связи с наличием бесконечного количества комбинаций химических соединений и ограниченных данных о их токсичности [1-5]. В связи с этим оценка комбинированного действия вредных веществ является одной из наиболее сложных и актуальных проблем, как с точки зрения теоретической науки, так и практических вопросов нормативного регулирования.

Непосредственно вопрос изучения комбинированного воздействия активно прорабатывается для целей гигиенического нормирования. Имеется достаточно широкий набор методологических подходов и руководящих документов как на международном, так и национальном уровнях, необходимых для оценки комбинированного воздействия в ходе установления нормативов или прогнозирования воздействия, а также оценки рисков.

В частности, такие документы имеются на уровне Всемирной организации здравоохранения (WHO) и Международной организации по программе химической безопасности (IPCS), Агентства по охране окружающей среды (USEPA) [6-9].

В Российском национальном законодательстве имеются документы регламентирующие различные процедуры оценки, требующие учёта комбинированного воздействия, основанные на опыте советского периода и частично скоординированные с зарубежными подходами, в частности:

- Руководство Р 1.2.3156-13 «Оценка токсичности и опасности химических веществ и их смесей для здоровья человека» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 27 декабря 2013 г.);
- Руководство Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 29.07.2005).

В целом токсикологические исследования показывают наличие особенностей при комбинированном воздействии различных химических факторов. В частности, в большинстве случаев выделяют эффекты: суммации (аддитивность) – явление суммирования эффектов, индуцированных комбинированным действием; потенцирования (синергия) – усиление эффекта воздействия (эффект, превышающий суммацию); антагонизм – эффект комбинированного воздействия, меньше ожидаемого при суммации. При этом необходимо сделать оговорку, что несмотря на общее понимание эффектов терминологический аппарат, описывающий эффекты взаимного влияния, крайне неоднороден, имеет специфику на уровне различных международных документов и не имеет официальной гармонизации в законодательстве.

Кроме того, большинство методов оценки комбинированного воздействия химических факторов практически не учитывает особенности течения биохимических процессов и функциональной активности разных физиологических систем индивидуума, а также поло-возрастные характеристики, наличие или отсутствие сопутствующей патологии, уровень физической нагрузки (объем дыхания), учета времени воздействия по отношению к циркадному ритму, применение средств индивидуальной защиты, все это непосредственно влияет на эффекты от воздействия химических факторов.

Для практической деятельности важным при оценке комбинированного воздействия является подбор методологии оценки, критериев и интерпретация результатов.

Одним из вопросов, усложняющим оценку комбинированного воздействия химических веществ, являются расхождения в существующих классификаторах, методических и нормативных документах, характеризующих специфические свойства химических веществ. На данный момент в практической деятельности применяются:

- СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" – базовый документ, устанавливающий государственные гигиенические нормативы. При этом структура документа предполагает деление по средам, в связи с чем имеется существенное различие в указании на специфические свойства для

химических веществ. Так в разделе «I. Гигиенические нормативы содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений» для химических веществ есть указание на рефлекторное действие, резорбтивное действие и рефлекторно-резорбтивное действие. Информация о канцерогенности, фиброгенности, аллергенности и остронаправленном механизме действия отсутствует. В разделе «II. Химические и биологические факторы производственной среды» даны указания на фиброгенные, аллергенные, канцерогенные свойства веществ, а также обозначены вещества с остронаправленным механизмом действия. Разделы «III. Нормативы качества и безопасности воды» и «IV. Почва населенных мест и сельскохозяйственных угодий» не содержат указаний на специфические свойства химических веществ. Отдельно выделен раздел «VIII. Канцерогенные факторы»;

- СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда" в своём составе имеют Приложение №2 «Факторы производственной среды и производственные процессы, обладающие канцерогенными свойствами»;

- ГОСТ 12.1.005-88. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» даны указания на фиброгенные, аллергенные, канцерогенные свойства веществ, а также обозначены вещества с остронаправленным механизмом действия»;

- Приказ Минздрава России от 28.01.2021 N 29н (ред. от 02.10.2024) "Об утверждении Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, предусмотренных частью четвертой статьи 213 Трудового кодекса Российской Федерации, перечня медицинских противопоказаний к осуществлению работ с вредными и (или) опасными производственными факторами, а также работам, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры" содержит в приложении с химическими факторами указания на фиброгенные, аллергенные, канцерогенные свойства веществ, а также обозначены вещества с остронаправленным механизмом действия и вещества, опасные для репродуктивного здоровья человека;

- Федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ (ФРПОХБВ) является государственным информационным ресурсом, созданным в целях реализации соответствующих международных договоров Российской Федерации, в том числе Роттердамской конвенции о процедуре предварительного обоснованного согласия в отношении отдельных опасных химических веществ и пестицидов в международной торговле от 10 сентября 1998 г., и требований законодательства Российской Федерации. Содержит информацию

более чем о 12000 веществ. Имеет указание на специфические свойства отдельных химических веществ и соединений;

- Распоряжение Правительства РФ от 20.10.2023 N 2909-р (ред. от 05.06.2024) «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды и признании утратившими силу некоторых Постановлений Правительства РФ». Содержит перечень химических веществ и соединений, не имеет указаний на специфические свойства отдельных химических веществ и соединений.

Все выше представленные документы не синхронизированы между собой и имеют расхождения как в наименованиях химических веществ так, и в описании их специфических свойств. Особой проблемой является ситуация с веществами, опасными для репродуктивного здоровья человека, поскольку информация не кодифицирована на уровне гигиенических нормативов и во многом носит справочный характер.

Воздействие химических веществ на работников возможно при различных видах профессиональной деятельности. Наибольший контакт с химическим фактором имеют работники, занятые в производствах кокса, нефтепродуктов, химических веществ и химических продуктов, лекарственных средств, резиновых и пластмассовых изделий, искусственной кожи, в которых различные химические соединения присутствуют в технологическом процессе в качестве сырья, промежуточных и конечных продуктов [10-12]. В таких производствах, как горнорудная, металлургическая, машиностроение, а также в сельском хозяйстве и на транспорте, химические вещества используются или выделяются при выполнении работниками определенных технологических операций.

По данным официальной статистики в 2024 году воздействию химического фактора в РФ подвергалось 1014766 работников (7,3%), а профессиональные заболевания, вызванные этим фактором составляли 19,49 % от общего количества впервые установленных профессиональных заболеваний.

В условиях производств возможно присутствие в воздухе рабочей зоны как отдельных химических веществ, так и сложных смесей, относящихся к различным классам опасности и обладающих различными специфическими особенностями воздействия на организм. Присутствие одновременно наибольшего количества вредных веществ характерно для химических предприятий, где в воздухе рабочей зоны могут быть обнаружены до десятка химических веществ.

Потенцирование эффекта было выявлено при совместном воздействии бензола, толуола, этилбензола, стирола, ксилола [13-16]. Усиление эффекта (синергизм) действия одного химического фактора за счет эффекта другого отмечено в при совместном действии сернистого ангидрида и хлора [17-18].

Примером антагонистического действия является комбинированное воздействие свинца, цинка и меди в производстве цветных металлов [19].

Многолетними исследованиями, проведенными сотрудниками ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» и ЕМНЦ установлено, что при оценке условий труда различных производств при наличии на их рабочих местах комплекса химических веществ, обладающих специфическими однонаправленными эффектами, в рамках проведения СОУТ, при составлении санитарно-гигиенических характеристик не всегда учитывается эффект суммации. В этой связи нами показана необходимость учета суммационного эффекта при оценке химического фактора.

Цель исследования: оценка условий труда по химическому фактору в условиях различных производств при одновременного присутствии в воздухе рабочей зоны вредных веществ, обладающих эффектом суммации.

Материалы и методы исследования. Гигиенические исследования проведены на производствах, относящихся к обрабатывающей отрасли экономики. Изучены производства стирола, кокса и свинца из вторичного сырья. Гигиенические исследования включали изучение загрязнения воздуха рабочей зоны специфическими химическими веществами, характерными для каждого производства общепринятыми методами. Используемые в исследовании средства измерения входили в перечень ГРСИ, и имели государственную поверку.

В качестве информационного ресурса об особенностях биологического действия для химических веществ в воздухе рабочей зоны аппаратчиков производства стирола использовали ФРПОХБВ, для газовщика коксовых печей производства кокса Руководство Р 2.2.2006-05. Общую оценку условий труда по химическому фактору проводили в соответствии с требованиями Руководства Р.2.2.2006-05.

Определение перечня вредных веществ, которые могут поступать в воздух рабочей зоны изученных производств было проведено на основании изучения технологических регламентов с учетом используемого сырья, реагентов, температурных режимов, выполняемых операций.

Оценку условий труда по химическим факторам проводили по двум нормативам — максимально разовым ПДК (ПДК_{мр}) и среднесменным ПДК (ПДК_{сс}), при этом итоговый класс определяли по более высокой степени вредности с учетом коэффициента суммации веществ однонаправленного действия. Детально были изучены условия труда по химическому фактору на рабочих местах аппаратчика производства стирола, газовщика коксовых печей производства кокса и плавильщика производства свинца из вторичного сырья.

Результаты. Изученные производства характеризовались различными технологическими процессами, применяемым оборудованием, степенью их механизации и автоматизации, что существенно повлияло на спектр и интенсивность воздействия химического фактора на организм работников. В связи с этим оценка условий труда по химическому фактору проведена отдельно по каждому выбранному рабочему месту.

Изученное производство стирола основано на методе дегидрирования этилбензола в присутствии железохромкалиевых катализаторов. При протекании основной реакции получения стирола имеют место побочные реакции распада этилбензола, в результате которых образуются такие соединения, как бензол и метилбензол (толуол).

Согласно технологической схеме получения стирола при проведении регламентированных работ возможно загрязнение воздуха рабочей зоны такими веществами как этилбензол, этилбензол, метилбензол и бензол. По характеру действия на организм указанные вещества относятся к веществам раздражающего, остронаправленного, канцерогенного и репротоксического действия (табл.).

Основной профессиональной группой в производстве являлись аппаратчики, осуществляющие ведение технологического процесса по показаниям приборов, расположенным в центральных пунктах управления – операторных, а также контроль за работой оборудования, расположенного как в производственных помещениях, так и на наружных установках.

Без учета комбинированного воздействия вредных веществ при их одновременном присутствии в воздушной среде условия труда аппаратчиков по максимально разовым концентрациям бензола и метилбензола оценены классом 2, по этилбензолу и этилбензолу - классом 3.1. По среднесменным концентрациям вредных веществ условия труда отнесены к допустимому классу (класс 2). Следовательно, общая оценка условий труда по химическому фактору при таком подходе соответствовала классу с более высокой степенью вредности – третьему классу первой степени вредности (класс 3.1).

В существующих нормативных документах наблюдается расхождение информации по биологическому воздействию вредных химических веществ на организм работников таких веществ как этилбензол, бензол, метилбензол, этилбензол. Согласно СанПиН 1.2.3685-21, только для бензола указано специфическое канцерогенное действие. В отличие от указанного источника, ФРПОХБВ содержит более развернутые сведения по их эффектам воздействия. Так все вещества, присутствующие в воздухе рабочей зоны аппаратчиков производства стирола, в соответствии с регистром имеют раздражающее и репротоксическое действие.

Канцерогенное воздействие достоверно установлено лишь для бензола и этенилбензола.

Учитывая данные факты были проанализированы различные варианты сочетания веществ с близкой структурой и аналогичным механизмом действия, способных в совокупности усиливать неблагоприятное воздействие на организм аппаратчиков. Расчет коэффициента суммации по максимально разовым и среднесменным значениям показал превышение его порогового уровня в 3-4 раза, что в соответствии с критериями Руководства 2.2.2006-05 позволили отнести условия труда аппаратчиков к вредным – класс 3.2.

Все четыре вещества, присутствующие в воздушной среде производства, обладают способностью оказывать токсическое действие на репродуктивную систему. Расчет КС с учетом этого эффекта показал его превышение, что позволило условия труда по химическому фактору по максимально разовым концентрациям отнести к классу 3.3 и при учете среднесменных концентраций - классу 3.2, при итоговом классе 3.3.

Таким образом, оценка условий труда по химическому фактору с учетом комбинации вредных веществ с однонаправленным механизмом действия и эффектом суммации существенно изменила итоговую оценку условий труда аппаратчиков производства стирола на две позиции – с класса 3.1 до 3.3.

Газовщик коксовых печей производства кокса, осуществляет контроль подачи газа, регулировку температуры и других параметров процесса для обеспечения эффективной работы коксовых печей, при выполнении работы находится под воздействием различных химических веществ (табл. 1). Преобладающими веществами являются углерод оксид, гидроцианид (вещества остронаправленного действия), бензол и бенз(а)пирен (канцерогенны) и бензол, бенз(а)пирен, гидроксибензол (репротоксиканты).

Таблица. Условия труда на рабочих местах работников различных производств по химическим факторам с учетом их комбинированного воздействия.

Table. Working conditions at workplaces of employees in various industries with consideration of chemical factors and their combined effects.

Комбинация веществ однонаправле нного действия с эффектом суммации	Особенность биологическо го действия	Аппаратчик производства стирола					Газовщик коксовых печей производства кокса				
		Химическое вещество в комбинации	Класс условий труда без учета КС¹	Коэффицие нт суммации для комбинации веществ¹	Класс условий труда с учетом КС¹	Итоговый класс по ХФ	Химическое вещество в комбинации	Класс условий труда без учета КС¹	Коэффицие нт суммации для комбинаци и веществ¹	Класс условий труда с учетом КС¹	Итоговый класс по ХФ
Комбинация с одинаковой спецификой клинических проявлений	канцерогенно е действие	этинилбензо л	3.1/2	2,6/1,7	(3.1/3.1)	(3.1)	бенз(а)пирен	-/3.1	2,3	3.2	3.2
		бензол	2/2				Бензол	3.1/3.1			
	репротоксиче ское действие	этинилбензо л	3.1/2	4,2/3,1	(3.2/3.2)	(3.2)	бенз(а)пирен	-/3.1	2,6	3.2	3.2
		бензол	2/2				бензол	3.1/3.1			
		этилбензол	3.1/2				гиброксiben зол	2/2			
		метилбензол	2/2								
	раздражающе е действие	этинилбензо л	3.1/2	4,2/3,1	3.2/3.2	3.2	-	-	-	-	-
		бензол	2/2								
		этилбензол	3.1/2								

Продолжение таблицы.

Continuation of Table.

		Метилбензол	2/2								
	остронаправленное действие	-	-	-	-	-	углерод оксид	3.1	2,2	3.2	3.2
							гидроцианид	2			
Комбинация с близким химическим строением		этилбензол	3.1/2	4,2/3,1	3.2/3.2	3.2	-	-	-	-	-
		бензол	2/2								
		этилбензол	3.1/2								
		метилбензол	2/2								

Примечание: 1 - в числителе по максимально разовым концентрациям, в знаменателе – среднесменным.

По результатам концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны на рабочем месте газовщика коксовых печей не превышали предельно допустимых значений (класс условий труда 2). При оценке условий труда с учётом суммации было выявлено превышение рассчитанных коэффициентов суммации допустимого предела до 2,5 раз, что позволило отнести условия труда на рабочем месте газовщика коксовых печей по химическому фактору к вредным условиям труда (класс 3.2).

На предприятии по получению свинца из вторичного сырья (на основании отходов медеплавильного производства) ввиду широкой номенклатуры используемых в технологии материалов (сырья) в воздух рабочей зоны выделяется аэрозоль сложного химического состава. Основной профессиональной группой является плавильщик, в профессиональные обязанности которого входит обслуживание печей и изложниц. По результатам гигиенических исследований в воздухе рабочей зоны регистрировались вещества, относящиеся к промышленным канцерогенам - свинец, мышьяк, Бенз(а)пирен, аэрозоли преимущественно фиброгенного действия - диоксид железа, а также цинк, медь, сурьма в пределах допустимых концентраций (класс условий труда по химическому фактору 2). Рассчитанный коэффициент суммации для веществ, обладающих канцерогенным действием, достигал 6,5, что изменило условия труда по химическому фактору плавильщика до 3 класса 3 степени вредности.

Обсуждение. Вопрос комбинированного действия химических веществ остается одним из ключевых в области токсикологии окружающей среды и производственной гигиены. Согласно данным многочисленных исследований, при одновременном воздействии химических агентов, таких как ароматические углеводороды, тяжелые металлы, пестициды и органические растворители, реализуются механизмы, существенно отличающиеся от эффектов изолированного действия компонентов.

Авторы отмечают, что при анализе комбинированного токсического действия имеются методологические сложности. Так, комбинированное воздействие бензола, толуола, этилбензола и ксилола может вызывать выраженные нейротоксические и поведенческие эффекты, при этом экспериментальные модели не всегда адекватно воспроизводят реальные условия экспозиции, что требует разработки новых подходов к моделированию и оценке такого воздействия [20]. Некоторые работы указывают несоответствие между используемыми в гигиенической практике методами оценки риска и сложной природой межвещественных взаимодействий [1,2].

Совокупность данных последних лет демонстрирует широкий спектр типов взаимодействия между органическими веществами от антагонизма до

синергизма. Наиболее изученные комбинации (например, бензол + толуол, бензол + формальдегид, бензол/толуол + Б(а)П) демонстрируют, что направление эффекта зависит от дозы, режима экспозиции, вида модели и длительности экспериментального исследования [13-14,17-18].

Основной проблемой при проведении оценки условий труда по химическому фактору является факт недоучета эффектов суммации.

Поскольку регламент расчета комбинированного воздействия химических веществ на практике не всегда выполняется нами проведена оценка комбинированного воздействия химических факторов на рабочих местах различных производств с учетом коэффициента суммации: аппаратчика производства стирола, газовщика коксовых печей производства кокс, плавильщика производства свинца из вторичного сырья, что позволило объективно оценить гигиеническую ситуацию на указанных производствах.

Показано, что при наличии в воздухе рабочей зоны многокомпонентных смесей, в составе которых присутствуют вещества, обладающие специфическими однонаправленными эффектами, общий класс условий труда по химическому фактору увеличивается на 1-2 ступени, даже в случае, если концентрации отдельных веществ в воздушной среде не превышают допустимых уровней.

Одним из вопросов, усложняющих вопросы оценки комбинированного воздействия химических веществ, являются расхождение в существующих нормативных документах характеризующих специфические свойства химических веществ.

Наиболее распространённый список представлен в токсикологическом реестре ФРПХБВ. Из-за недостаточных данных о специфических свойствах химических соединений и большого количества возможных комбинаций вредных веществ в условиях производства оценка риска их воздействия на сегодняшний день представляет сложную задачу.

В ходе работ по совершенствованию нормативно-правовой методической базы требуется актуализация и гармонизация всех имеющихся источников данных и классификаторов для формирования единого правового поля в части оценки эффектов воздействия факторов среды.

Недооценка эффектов суммации и кумуляции химических веществ не позволяет прогнозировать возможные негативные эффекты для жизни и здоровья работников, искажает результаты оценки профессиональных рисков и не позволяет своевременно реализовывать эффективные профилактические меры. Одним из вариантов компенсации сложившейся ситуации является расширения работ по обоснованию гигиенических нормативов для рабочей зоны на

конкретных видах производств с учетом специфики технологических процессов, расширение методик ускоренного гигиенического нормирования, внедрение гигиенических нормативов для содержания вредных веществ и их метаболитов в биологических жидкостях и более широкое использование биомаркеров в оценке состояния здоровья населения экспонированного к вредным факторам производственной среды и трудового процесса.

Заключение. Основной проблемой при проведении оценки условий труда по химическому фактору является факт недоучета эффектов суммации.

Объективная оценка химического фактора с учетом комбинированного воздействия вредных веществ позволит дать достоверную оценку условий труда работников, сформировать полноценные списки работников, подлежащих периодическим медицинским осмотрам, своевременно выявить «группы риска» с начальными признаками профессиональных заболеваний и разработать мероприятия по минимизации рисков воздействия химического фактора на организм работников.

Список литературы:

1. Кацнельсон Б.А., Вараксин А.Н., Панов В.Г., Привалова Л.И., Минигалиева И.А., Киреева Е.П. Экспериментальное моделирование и математическое описание хронической комбинированной токсичности как основа анализа многофакторных химических рисков для здоровья. Токсикологический вестник. 2015; 5 (134): 37-45.
2. Минигалиева И.А., Кацнельсон Б.А., Гурвич В.Б., Привалова Л.И., Панов В.Г., Вараксин А.Н., Сутункова М.П. О соотношении между общепринятой практикой оценки риска для здоровья при полиметаллических экспозициях и теорией комбинированной токсичности. Токсикологический вестник. 2017; 4 (145): 13-18. doi: 10.36946/0869-7922-2017-4-13-18.
3. Carreón T, Hein MJ, Hanley KW, Viet SM, Ruder AM. Coronary artery disease and cancer mortality in a cohort of workers exposed to vinyl chloride, carbon disulfide, rotating shift work, and o-toluidine at a chemical manufacturing plant. *Am J Ind Med*. 2014; 57(4): 398-411. doi: 10.1002/ajim.22299.
4. Kortenkamp A, Faust M, Scholze M, Backhaus T. Low-level exposure to multiple chemicals: reason for human health concerns? *Environ Health Perspect*. 2007 Dec; 115 Suppl 1(Suppl 1):106-14. doi: 10.1289/ehp.9358.
5. Kumari M, Kumar A. Identification of component-based approach for prediction of joint chemical mixture toxicity risk assessment with respect to human health: A critical review. *Food Chem Toxicol*. 2020 Sep; 143: 111458. doi: 10.1016/j.fct.2020.111458.
6. Assessment of combined exposures to multiple chemicals: report of a WHO/IPCS international workshop on aggregate/cumulative risk assessment. World Health Organization, 2009. No. 7. 83 p.
7. Considerations for Assessing the Risks of Combined Exposure to Multiple Chemicals, Series on Testing and Assessment Environment, Health and Safety Division, Environment Directorate. OECD. 2018. No. 296. 119 p.
8. Risk assessment of combined exposure to multiple chemicals: A WHO/IPCS framework. [Электронный ресурс]. *Regulatory Toxicology and Pharmacolog*. 2011. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21466831/>.
9. Supplementary guidance for conducting health risk assessment of chemical mixtures. EPA/630/R-00/002 URL: <https://www.epa.gov/risk/guidelines-health-risk-assessment-chemical-mixtures> (дата обращения: 12.02.2025).
10. Березняк И.В., Федорова С.Г., Ильницкая А.В. Токсиколого-гигиенические требования безопасности при работе с пестицидами в сельском хозяйстве. *Гигиена и санитария*. 2022;101(10):1243-1248. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1243-1248>.
11. Воробьева А.А., Устинова О.Ю., Власова Е.М., Лешкова И.В., Горбушина О.Ю. Роль вредных производственных факторов в развитии репродуктивных нарушений у работников предприятий химической промышленности. *Профилактическая медицина*. 2021; 24(10): 99-105.
12. Каримова Л.К., Бадамшина Г.Г., Ларионова Т.К., Бейгул Н.А., Маврина Л.Н. Оценка комбинированного воздействия вредных веществ в условиях химических производств. *Санитарный врач*. 2017; 8: 14-20.
13. Bird MG, Wetmore BA, Letinski DJ, Nicolich M, Chen M, Schnatter AR, Whitman FT. Influence of toluene co-exposure on the metabolism and genotoxicity of benzene in mice using continuous and intermittent exposures. *Chem Biol Interact*. 2010 Mar 19;184(1-2):233-9. doi: 10.1016/j.cbi.2010.01.012. Epub 2010 Jan 15. PMID: 20079720.
14. Liao Q, Du R, Ma R, Liu X, Zhang Y, Zhang Z, Ji P, Xiao M, Cui Y, Xing X, Liu L, Dang S, Deng Q, Xiao Y. Association between exposure to a mixture of benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, and styrene (BTEXS)

- and small airways function: A cross-sectional study. *Environ Res.* 2022 Sep;212(Pt D):113488. doi: 10.1016/j.envres.2022.113488.
15. Nascimento MKS, Loureiro S, Souza MRDR, Alexandre MDR, Nilin J. Toxicity of a mixture of monoaromatic hydrocarbons (BTX) to a tropical marine microcrustacean. *Mar Pollut Bull.* 2020 Jul;156:111272. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111272.
16. Ragas AM, Oldenkamp R, Preeker NL, Wernicke J, Schlink U. Cumulative risk assessment of chemical exposures in urban environments. *Environ Int.* 2011 Jul;37(5):872-81. doi: 10.1016/j.envint.2011.02.015.
17. Shen Q, Liu R, Chen J, Li G, Ma S, Yu Y, An T. Co-exposure health risk of benzo[a]pyrene with aromatic VOCs: Monoaromatic hydrocarbons inhibit the glucuronidation of benzo[a]pyrene. *Environ Res.* 2023 Feb 15;219:115158. doi: 10.1016/j.envres.2022.115158.
18. Wen H, Yuan L, Wei C, Zhao Y, Qian Y, Ma P, Ding S, Yang X, Wang X. Effects of combined exposure to formaldehyde and benzene on immune cells in the blood and spleen in Balb/c mice. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2016 Jul;45:265-73. doi: 10.1016/j.etap.2016.05.007.
19. Andjelkovic M, Buha Djordjevic A, Antonijevic E, Antonijevic B, Stanic M, Kotur-Stevuljevic J, Spasojevic-Kalimanovska V, Jovanovic M, Boricic N, Wallace D, et al. Toxic Effect of Acute Cadmium and Lead Exposure in Rat Blood, Liver, and Kidney. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2019; 16(2):274. <https://doi.org/10.3390/ijerph16020274>.
20. Davidson CJ, Hannigan JH, Bowen SE. Effects of inhaled combined Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX): Toward an environmental exposure model. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2021 Jan;81:103518. doi: 10.1016/j.etap.2020.103518.

References:

1. Katsnelson B.A., Varaksin A.N., Panov V.G., Privalova L.I., Minigalieva I.A., Kireyeva E.P. Experimental modeling and mathematical description of the chronic combined toxicity as a basis of multi-factor chemical health risks analysis. *Toxicological Review*. 2015;(5):37-45. (In Russ.).
2. Minigalieva I.A., Katsnelson B.A., Gurvich V.B., Privalova L.I., Panov V.G., Varaksin A.N., Sutunkova M.P. Concerning coordination between the generally accepted practice of assessing health risks due to multi-metallic exposures and the theory of combined toxicity // *Toxicological Review*. - 2017. - N. 4. - P. 13-18. doi: 10.36946/0869-7922-2017-4-13-18. (In Russ.).
3. Carreón T, Hein MJ, Hanley KW, Viet SM, Ruder AM. Coronary artery disease and cancer mortality in a cohort of workers exposed to vinyl chloride, carbon disulfide, rotating shift work, and o-toluidine at a chemical manufacturing plant. *Am J Ind Med*. 2014; 57(4): 398-411. doi: 10.1002/ajim.22299.
4. Kortenkamp A, Faust M, Scholze M, Backhaus T. Low-level exposure to multiple chemicals: reason for human health concerns? *Environ Health Perspect*. 2007 Dec; 115 Suppl 1(Suppl 1):106-14. doi: 10.1289/ehp.9358.
5. Kumari M, Kumar A. Identification of component-based approach for prediction of joint chemical mixture toxicity risk assessment with respect to human health: A critical review. *Food Chem Toxicol*. 2020 Sep; 143: 111458. doi: 10.1016/j.fct.2020.111458.
6. Assessment of combined exposures to multiple chemicals: report of a WHO/IPCS international workshop on aggregate/cumulative risk assessment. World Health Organization, 2009. No. 7. 83 p.
7. Risk assessment of combined exposure to multiple chemicals: A WHO/IPCS framework. [Электронный ресурс]. *Regulatory Toxicology and Pharmacolog*. 2011. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21466831/>.
8. Considerations for Assessing the Risks of Combined Exposure to Multiple Chemicals, Series on Testing and Assessment Environment, Health and Safety Division, Environment Directorate. OECD. 2018. No. 296. 119 p.
9. Supplementary guidance for conducting health risk assessment of chemical mixtures. EPA/630/R-00/002 URL: <https://www.epa.gov/risk/guidelines-health-risk-assessment-chemical-mixtures> (дата обращения: 12.02.2025).
10. Bereznyak I.V., Fedorova S.G., Il'nitskaya A.V. Toxicological and hygienic requirements when working with pesticides in agriculture. *Hygiene and Sanitation*. 2022;101(10):1243-1248. (In Russ.) <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1243-1248>.
11. Vorob'eva AA, Ustinova OYu, Vlasova EM, Leshkova IV, Gorbushina OYu. The role of occupational hazards in the development of reproductive disorders in chemical industry workers. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2021; 24 (10):99 105. (In Russ.).
12. Karimova L.K., Badamshina G.G., Larionova T.K., Beygul N.A., Mavrina L.N. Otsenka kombinirovannogo vozdeystviya vrednykh veshchestv v usloviyakh sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva. *Sanitarnyy vrach*. 2017; 8: 14-20.
13. Bird MG, Wetmore BA, Letinski DJ, Nicolich M, Chen M, Schnatter AR, Whitman FT. Influence of toluene co-exposure on the metabolism and genotoxicity of benzene in mice using continuous and intermittent exposures. *Chem Biol Interact*. 2010 Mar 19;184(1-2):233-9. doi: 10.1016/j.cbi.2010.01.012. Epub 2010 Jan 15. PMID: 20079720.
14. Liao Q, Du R, Ma R, Liu X, Zhang Y, Zhang Z, Ji P, Xiao M, Cui Y, Xing X, Liu L, Dang S, Deng Q, Xiao Y. Association between exposure to a mixture of benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, and styrene (BTEXS)

- and small airways function: A cross-sectional study. *Environ Res.* 2022 Sep;212(Pt D):113488. doi: 10.1016/j.envres.2022.113488.
15. Nascimento MKS, Loureiro S, Souza MRDR, Alexandre MDR, Nilin J. Toxicity of a mixture of monoaromatic hydrocarbons (BTX) to a tropical marine microcrustacean. *Mar Pollut Bull.* 2020 Jul;156:111272. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111272.
16. Ragas AM, Oldenkamp R, Preeker NL, Wernicke J, Schlink U. Cumulative risk assessment of chemical exposures in urban environments. *Environ Int.* 2011 Jul;37(5):872-81. doi: 10.1016/j.envint.2011.02.015.
17. Shen Q, Liu R, Chen J, Li G, Ma S, Yu Y, An T. Co-exposure health risk of benzo[a]pyrene with aromatic VOCs: Monoaromatic hydrocarbons inhibit the glucuronidation of benzo[a]pyrene. *Environ Res.* 2023 Feb 15;219:115158. doi: 10.1016/j.envres.2022.115158.
18. Wen H, Yuan L, Wei C, Zhao Y, Qian Y, Ma P, Ding S, Yang X, Wang X. Effects of combined exposure to formaldehyde and benzene on immune cells in the blood and spleen in Balb/c mice. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2016 Jul;45:265-73. doi: 10.1016/j.etap.2016.05.007.
19. Andjelkovic M, Buha Djordjevic A, Antonijevic E, Antonijevic B, Stanic M, Kotur-Stevuljevic J, Spasojevic-Kalimanovska V, Jovanovic M, Boricic N, Wallace D, et al. Toxic Effect of Acute Cadmium and Lead Exposure in Rat Blood, Liver, and Kidney. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2019; 16(2):274. <https://doi.org/10.3390/ijerph16020274>.
20. Davidson CJ, Hannigan JH, Bowen SE. Effects of inhaled combined Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX): Toward an environmental exposure model. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2021 Jan;81:103518. doi: 10.1016/j.etap.2020.103518.

Поступила/Received: 20.05.2025

Принята в печать/Accepted: 09.06.2025

УДК 613.62:616.74

**ПОРАЖЕНИЯ ПЛЕЧА, СВЯЗАННЫЕ С ТЯЖЕСТЬЮ ТРУДОВОГО ПРОЦЕССА –
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ
(ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**

Щетинина А.А.

ФГБНУ «НИИ медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова»

Одной из актуальных проблем медицины труда являются поражения плеча, связанные с физическими перегрузками и функциональным перенапряжением. Несмотря на то, что в структуре заболеваний костно-мышечной системы и соединительной ткани поражения околоуставных тканей плечевого сустава занимают значимое место, их доля в структуре профессиональной патологии остается незначительной. Проблемой является неполное соответствие перечня профессиональных заболеваний общепринятым классификациям данной патологии, недостаточная информированность специалистов о клинических проявлениях и диагностике данной патологии. Вопросы экспертизы затрудняются тем, что нет согласованного мнения о механизмах формирования поражений плеча при тяжести трудового процесса выше допустимых значений, отсутствуют единые экспертные подходы при установлении связи заболевания с профессией. Вышесказанное подчеркивает актуальность данной темы и целесообразность дальнейших исследований по проблеме профессиональных поражений плеча.

Ключевые слова: поражения плеча; тяжесть трудового процесса; синдром сдавления ротатора плеча; плечелопаточный периартроз.

Для цитирования: Щетинина А.А. Поражения плеча, связанные с тяжестью трудового процесса – современное состояние проблемы (обзор литературы). Медицина труда и экология человека. 2025; 2: 58-75.

Для корреспонденции: Щетинина Анастасия Александровна – врач-невролог отделения заболеваний нервной и скелетно-мышечной систем клиники ФГБНУ «НИИ МТ», аспирант 3-го года обучения, e-mail: shchetinina199628@mail.ru.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10204>

SHOULDER INJURIES RELATED TO THE SEVERITY OF THE LABOR PROCESS – THE CURRENT STATE OF THE PROBLEM (LITERATURE REVIEW)

Shchetinina A.A.

Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russia

Shoulder injuries associated with physical overloads and functional overstrain are one of the urgent problems of occupational medicine. Despite the fact that lesions of the periarticular tissues of the shoulder joint occupy a significant place in the structure of diseases of the musculoskeletal system and connective tissue, their share in the structure of occupational pathology remains insignificant.

The problem is the incomplete compliance of the list of occupational diseases with the generally accepted classifications of this pathology, insufficient awareness of specialists about the clinical manifestations and diagnosis of this pathology. Examination issues are complicated by the fact that there is no agreed opinion on the mechanisms of formation of shoulder lesions with the severity of the labor process above acceptable values, and there are no unified expert approaches to establishing a link between the disease and the profession. The above highlights the relevance of this topic and the expediency of further research on the problem of occupational shoulder injuries.

Keywords: shoulder lesions; severity of the labor process; shoulder rotator compression syndrome; shoulder periarthrosis.

For citation: Shchetinina A.A. Shoulder injuries related to the severity of the labor process – the current state of the problem (literature review). Occupational health and human ecology. 2025; 2: 58-75.

Correspondence: Shchetinina Anastasia Alexandrovna – neurologist at the department of nervous and musculoskeletal system diseases, clinic of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Research Institute of Occupational Medicine", third-year postgraduate student, e-mail: shchetinina199628@mail.ru.

Funding: The study had no financial support.

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

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10204>

Старение населения, увеличение продолжительности жизни и работоспособного возраста являются важными факторами, которые ведут к росту числа людей с заболеваниями костно-мышечной системы и соединительной ткани (КМС и СТ) во всём мире. Около 1,71 миллиарда человек страдают заболеваниями КМС и СТ, которые являют основной причиной инвалидности и человеческих страданий во всём мире с тенденцией к возрастанию в ближайшие десятилетия. Несмотря на то,

что заболевания КМС и СТ не представляют непосредственной угрозы для жизни, они сопровождаются болью, ограничением двигательной активности, снижением качества жизни, работоспособности и препятствует полноценному участию в жизни общества [1-3].

Боли в области плеча занимают одно из ведущих мест в структуре заболеваний КМС и СТ. В современной популяции распространенность этого синдрома по некоторым данным превышает 30%, а поражения околосуставных образований, в частности синдром сдавления ротатора плеча и импинджмент-синдром в зависимости от популяции может достигать 46% [4, 5].

Из проведенных исследований по изучению причин боли в плече следует, что тяжелые рабочие нагрузки, неудобные позы, повторяющиеся движения, вибрация и продолжительность работы с указанными факторами являются профессиональными факторами риска этой патологии [6-8].

В нашей стране профессиональные заболевания, связанные с физическими перегрузками и функциональным перенапряжением отдельных органов и систем, стабильно занимают значимую долю в структуре впервые выявленных хронических профессиональных заболеваний по данным Роспотребнадзора: 2023г. - 26,47 % (2014 г. – 25,18 %), 2022 г. 20,7 %). Среди этой группы профессиональных заболеваний болезни мягких тканей, включающие поражения плеча, составляли в 2023 - 15,84 % (2022 - 30,55%; 2021-20,48%). Вместе с тем, определить истинную долю этих заболеваний в структуре профессиональной заболеваемости работников РФ не представляется возможным, поскольку до настоящего времени отсутствует учет отдельных нозологических форм профессиональной патологии как на федеральном, так и на региональном уровнях [9].

Перечень профессиональных заболеваний, утвержденный Приказом МЗ и СР РФ от 27 апреля 2012 г. №417н, включает в себя несколько нозологических форм, объединенных в группу поражений плеча (п.4.5.2): плечелопаточный периартроз, адгезивный капсулит плеча, синдром сдавления ротатора плеча, тендиноз длинной головки двуглавой мышцы плеча, бурсит плеча, другие поражения плеча (бурсит субакромиальной и/или поддельтовидной синовиальной сумки, тендиноз подостной, малой круглой и надлопаточных мышц) .

Стоит подчеркнуть, что термин «плечелопаточный периартроз» наиболее часто используется специалистами для обобщающего обозначения поражения периартикулярных тканей. Вместе с тем, в МКБ-10 такой диагноз, как и соответствующий ему код заболевания отсутствуют. Согласно современным

диагностическим подходам необходимо учитывать гетерогенность клинических форм патологии поражения периартикулярных образований плечевого сустава.

Классификация по нозологическому принципу, наиболее близкая к современному обозначению поражений плеча, была предложена в 1989 г. Т. Thornhill и включала в себя несколько нозологических форм: 1. тендинит мышц вращательной манжеты (с указанием конкретной мышцы); 2. тендинит двуглавой мышцы плеча; 3. кальцифицирующий тендинит; 4. разрыв (частичный или полный) сухожилий мышц области плечевого сустава; 5. ретрактивный капсулит [10,11].

В МКБ-10 варианты периартикулярной патологии области плечевого сустава дополнены и представлены в виде отдельных нозологических форм, объединенных в группу «Поражения плеча» (код МКБ-10 М75): адгезивный капсулит (М75.0); синдром сдавления ротатора плеча (М75.1); тендинит двуглавой мышцы (М75.2); кальцифицирующий тендинит плеча (М75.3); синдром удара плеча, или импинджмент-синдром (М75.4); бурсит плеча (М75.5); разрыв верхней губы дегенеративного плечевого сустава (М75.6); другие поражения плеча (М75.8); поражение плеча неуточненное (М75.9) [12].

Следовательно, можно констатировать имеющееся несоответствие действующего перечня профессиональных заболеваний общепринятой классификации, заключающееся в выделении «плечелопаточного периартроза» как нозологической формы, а также указание среди «других поражений плеча» такой патологии, как тендиноз подостной, малой круглой и надлопаточной мышц. Данные мышцы относятся к ротаторной манжете плеча, и, следовательно, их патология рассматривается в рамках «синдрома сдавления ротатора плеча».

Помимо этого, адгезивный капсулит (синонимы: «замороженное плечо»; «плечелопаточный периартрит») большинство исследователей рассматривает как вариант комплексного регионального болевого синдрома (синдром «плечо-кость»), при котором имеется диффузное поражение капсулы плечевого сустава, ее фиброз. В отличие от тендинитов в патогенезе этого заболевания отсутствует дегенеративный компонент, имеется четкая стадийность патологического процесса с самопроизвольным восстановлением. К факторам риска адгезивного капсулита относят женский пол, возраст старше 40 лет, наличие травмы плечевого сустава в анамнезе, сахарный диабет, положительный анализ на HLA-B27 и длительная иммобилизация сустава. Согласно научным данным, адгезивным капсулитом чаще страдают женщины. Следовательно, представляется не вполне

обоснованным отнесение данной патологии к перечню профессиональных заболеваний, связанных с тяжестью трудового процесса [13-16].

Таким образом, несогласованность перечня профессиональных поражений плеча с общепринятой классификацией, отсутствие единых стандартизованных критериев диагностики, четкого алгоритма экспертизы связи данных заболеваний с профессией представляет собой существенную проблему для медицины труда и профпатологии.

На практике диагностические трудности обусловлены тем, что специалисты, участвующие в обязательных периодических медицинских осмотрах работников (ПМО), недостаточно информированы относительно клинических проявлений поражений плеча. При боли и ограничении движений в плече, предъявляемых работником при прохождении ПМО, как правило, специалисты-хирурги диагностируют заболевания костно-хрящевых структур плечевого сустава, не интерпретируя клиническую картину как патологию периартикулярных мягких тканей. Как результат можно констатировать крайне низкую выявляемость данной профессиональной патологии даже в регионах с развитой промышленностью и высокой численностью работников физического труда.

Вместе с тем, по мнению отечественных и зарубежных исследователей, патология околосуставных тканей плеча – это частая клиническая проблема, с которой сталкиваются врачи различных специальностей. Но до настоящего времени многочисленные исследования не пришли к единому мнению в отношении основных причин и механизмов развития этого заболевания [17, 18]. Одни исследователи полагают, что болевой синдром в плече обусловлен воспалительным процессом в периартикулярных тканях, другие основной причиной считают особенности анатомических структур суставов, приводящих к ударному конфликту. Не отрицается также роль локального нарушения кровообращения, иннервации, а также возрастной дегенерации тканей сустава [19-21].

По данным Ю. Халимова с соавт. (2018) плечелопаточный периартроз, как дегенеративный процесс в околосуставных тканях (капсула, связки, сухожилия) при интактной структуре самого плечевого сустава, является одним из наиболее распространенных профессиональных заболеваний опорно-двигательного аппарата. Заболевание встречается в профессиях кузнецов, каменщиков, маляров, ткачих, штукатуров и др., чья работа связана со значительной

перегрузкой плечевого сустава вследствие часто повторяющихся усиленных движений [22].

По мнению В.Г. Суворова и Е.Е. Ачкасова (2018) профессиональные статические и динамические нагрузки при работе с поднятыми выше уровня плеч руками, особенно при сочетанном воздействии неблагоприятного микроклимата являются значимым фактором риска формирования патологии околосуставных тканей плеча. Для связи заболевания с профессией, по мнению авторов, важными критериями является постепенное развитие заболевания, его преимущественная локализация в доминирующей руке, и исключение других причин болевого синдрома в плечелопаточной области, включая отсутствие в анамнезе травм плечевого сустава [23].

При проведении научных исследований по изучению состояния здоровья рабочих физически тяжелого труда различных профессиональных групп возможность развития и выявление патологии плеча не всегда оценивается в полной мере. Так, в структуре профессиональной патологии горнорабочих апатитовых рудников Кольского Заполярья, основная доля принадлежит болезням костно-мышечной системы, среди которых наиболее распространенными нозологическими формами являются радикулопатия, деформирующий остеоартроз и миофиброз предплечий [24]. Вместе с тем, сравнительная оценка профессиональной заболеваемости рабочих открытых и подземных рудников апатитовых месторождений в 2008-2021 гг, показала, что при подземной добыче повышенная тяжесть труда имеет большое значение в формировании профессиональной патологии, в структуре которой одно из ведущих мест занимал плечелопаточный периартроз [25].

Исследования Л.Н. Шпагиной (2011) подтверждают, что у шахтеров, у которых значительный объем работ производится вручную и связан с функциональным и физическим перенапряжением мышц плечелопаточной области, частота поражений плеча достаточно высока. Среди диагностируемых нозологических форм преобладали тендинозы мышц ротаторов плеча и длинной головки двуглавой мышцы, выявляемые у значительной части обследованных (64,3% и 14,3% соответственно). При этом автор указывает неправомочность диагноза «плечелопаточный периартроз», важность использования дифференциально-диагностических клинических приемов выделения различающихся нозологических форм патологии плечевого пояса [26].

По данным Л.В. Талыковой и И.В. Гущина (2017) у подземных горнорабочих рудника Мурманской области обнаружена очень высокая вероятность развития

различных видов патологии костно-мышечной системы, включая плечелопаточный периартроз, относительный риск развития которого достигал 7,6 у бурильщиков со стажем 16-20 лет [27].

В исследовании Н.Ю. Мальковой с соавт. (2012) по изучению состояния здоровья работающих с тяжелыми физическими нагрузками частота выявления плечелопаточного периартроза была достаточно высока как у горнорабочих, так и рабочих строительства и машиностроительной отраслей [28].

Высокий относительный риск развития болевого синдрома плеча у работников электролизного производства алюминия отмечен при сочетании физических перегрузок и действия фторидов, что свидетельствовало о высокой степени связи болевого синдрома плеча с условиями труда [29, 30].

При этом согласно перечисленным исследованиям, а также по мнению других авторов, поражения плеча, как правило, развиваются не изолированно, а в сочетании с другой профессиональной патологией нервной и скелетно-мышечной систем – вибрационной патологией, радикулопатией и другими заболеваниями рабочей руки (артрозы, эпикондилезы, миофиброзы) [31-33].

Систематический обзор и мета-анализ распространенности заболеваний опорно-двигательного аппарата среди шахтеров по всему миру (2021) показал, что из 26 исследований, в которых сообщалось о распространенности заболеваний опорно-двигательного аппарата плеча, распространенность составила 29,72%, что даже превышало распространенность патологии в нижней части спины (24,25%), достигая максимума (34,75%) в странах с высоким индексом человеческого развития (ИЧР). Исследования, включенные в анализ настоящего исследования, показали, что в патологический процесс вовлечены основные части верхних конечностей, такие как плечи, запястья и кисти, а также локти. Шахтеры держали руки выше уровня плеч в течение длительного времени, что приводило к статической нагрузке на плечо. Более того, поднятие инструмента во время работы приводило к созданию критического угла головки плечевой кости. Время, которое шахтеры находятся в этой позе согласно исследованию, составляло около 85% рабочего [34].

На повышение риска развития тендинопатии вращательной манжеты плеча при работе с плечом выше 90° указывается с систематическом обзоре и метаанализе научных данных по изучению факторов риска симптоматической тендинопатии вращательной манжеты плеча [35].

В то же время, другие зарубежные систематические обзоры и мета-анализы свидетельствуют об ограниченных доказательствах связи между поднятием руки на работе и заболеваниями плеча [36]. Работа с длительным подъемом плеча выше 90 градусов лишь несколько увеличивало шанс развития тендинита мышц плечевого сустава, тогда как выявлены умеренные доказательства связи между заболеваниями плеча и нагрузкой на плечо ($OR=2,0$, 95% ДИ 1,90–2,10) [37, 38].

Оценка различных факторов риска развития патологии плеча в исследовании М. Sirén с соавт. (2020) показала, что поражения плеча достоверно чаще развивались среди лиц, которые подвергались воздействию профессиональных факторов физической нагрузки более 10 лет, чем среди тех, кто не подвергался этому воздействию. При этом в качестве значимых факторов риска считались: тяжелая работа, включающая, например, рытье котлована, работа лопатой или молотком, подъем, перенос или толкание предметов тяжелее 20 кг не менее 10 раз в день, работа руками выше уровня плеч (в среднем не менее 1 часа в день), работа в наклоненном вперед положении (в среднем не менее 1 часа в день) и сильные движения руками (включая сдавливание, скручивание, удержание тяжестей или инструментов в среднем не менее 1 часа в день) [39].

В последние годы появились новые данные, уточняющие механизм повреждения околосуставных тканей плечевого сустава в условиях тяжести трудового процесса выше допустимых значений. Так, поражение мышц вращательной манжеты связывают с концепцией патологических биомеханических нарушений в плечевом суставе, заключающейся в том, что под влиянием тяжелой физической нагрузки на область плеча, сухожилия мышц подвергаются растяжению, которое при определенных условиях труда многократно повторяется, что приводит к накоплению микротравм, повреждению коллагеновых волокон, капилляров и возникновению надрывов. При этом дегенеративные изменения возникают не только в мышцах ротаторной манжеты, но и в сухожилии длинной головки бицепса, расположенном в непосредственной близости со структурами ротаторной манжетой. Таким образом, действие тяжести трудового процесса на сухожилия мышц плечевого пояса связано с тремя основными механизмами: перерастяжением, давлением и трением, приводящими к хронической микротравматизации. В англоязычной литературе данная патология определяется как «cumulative trauma disorders», т. е. «заболевания от «кумулятивной (накопленной) травмы» [40, 41]

При рассмотрении патологии, относящейся к поражениям плеча, нельзя не учитывать патологические изменения, происходящие как в сухожилиях, так и в мышцах плечевого пояса. Важно, что в основе миофиброза лежит нарушение микроциркуляции в мышцах, особенно выраженном при статических нагрузках по сравнению с динамическими, что также должно учитываться при оценке риска формирования патологии периартикулярных тканей плеча [42, 43].

Совет экспертов, анализируя причины и механизмы патологии плеча, подчеркивает, что пусковым моментом помимо травмы является избыточное физическое напряжение, в результате которых формируется комплекс некробиотических изменений, происходит разрушение высокодифференцированных клеток и межклеточного матрикса, активизируются катаболические процессы. В результате развиваются воспалительные и дегенеративные изменения сухожилий, области энтезисов, капсулы плечевого сустава, хряща и субхондральной кости [44].

Изменения сухожилий мышц-ротаторов плеча нередко сочетаются с остеоартрозом плечевых суставов и акромиально-ключичных сочленений. Хотя диагноз преимущественно ставится на основании клинических симптомов и дополнительных тестов [45-47]. Поражение сухожилий мышц приводит к болезненному гипертонусу последних, что усиливает боль и нарушения функции. В результате складывается устойчивая патологическая система – порочный круг с формированием триггерных точек мышц [48].

В этой связи отдельной проблемой являются диагностические подходы к верификации поражений плеча и дифференциальной диагностике данной патологии с другими болевыми синдромами этой области. Сбор анамнеза и нейро-ортопедическое обследование, как правило являются первостепенными и достаточными для установления предварительного диагноза таких заболеваний, как синдром сдавления ротаторной манжеты, тендиоз длинной головки бицепса, импинджмент-синдром и др. При этом оценка функционального состояния плечевого сустава и околосуставных образований основывается, прежде всего на информативных показателях клинического статуса и диагностических тестах, позволяющих определить клинические признаки формирования наиболее частых поражений плеча и провести дифференциальную диагностику с патологией самого плечевого сустава, ключично-акромиального сочленения или шейно-плечевого сплетения [49-51].

Методы визуализации (МРТ, УЗИ плечевого сустава) способствуют объективизации клинической картины и, по мнению большинства исследователей, являются «золотым стандартом» в диагностике данной патологии [52].

Ряд исследований указывает также на эффективность применения различных оценочных шкал и опросников для оценки боли в плече, среди которых общепризнанными являются SSI – ASES (Оценочный опросник состояния плеча американских хирургов плечевого и локтевого суставов (Shoulder assessment form american shoulder and elbow surgeons), UCLA Шкала оценки плечевого сустава Университета Калифорнии, Лос – Анджелес (The University of California - Los Angeles (UCLA) Shoulder Scale), SST (Простой тест на состояние плеча (Simple Shoulder Test)), CSS Шкала Константа (Constant Shoulder Score) [53].

Вместе с тем, для диагностики профессиональных поражений плеча, в том числе в условиях проведения обязательных медицинских осмотров, необходима разработка специальных диагностических подходов и алгоритмов, обладающих простой воспроизводимостью и удобством в применении на практике.

Заключение. По мнению отечественных и зарубежных исследователей, патология околосуставных тканей плеча является частой клинической проблемой, с которой сталкиваются врачи различных специальностей. Вместе с тем, диагностика данного заболевания у работников, чей труд связан с тяжестью трудового процесса выше допустимых значений, является явной проблемой профессиональной патологии. Ввиду несогласованности действующего перечня профессиональных заболеваний с общепринятой классификацией поражений плеча, недостаточной информированности специалистов о клинических особенностях данной патологии и отсутствия разработанных подходов к их выявлению при массовом обследовании работников диагностика поражений плеча остается недостаточной.

Определённую сложность представляет собой также экспертиза связи поражений плеча с профессией. Большинство исследователей сходятся во мнении о значимости физических перегрузок для формирования поражений плеча, однако современные исследования указывают на многообразие механизмов поражения околосуставных тканей плеча, что предполагает возможность развития данной патологии в условиях различных трудовых процессов, связанных с физическими перегрузками и функциональным перенапряжением. Следовательно, необходимо дальнейшее изучение гигиенических, эргономических, физиологических аспектов

физического труда для определения наиболее значимых для формирования патологии плеча факторов тяжести трудового процесса.

Основываясь на накопленных научных данных, представляется целесообразным дальнейшее исследование особенностей клинических проявлений профессиональных поражений плеча, их зависимости от различных показателей тяжести трудового процесса с целью гармонизации перечня профессиональных заболеваний, разработки диагностического алгоритма и стандартизированных подходов к экспертизе связи данной патологии с профессией.

Список литературы:

1. WHO methods and data sources for life tables 1990-2021 (Global Health Estimates Technical Paper WHO/DDI/DNA/GHE/2024. <https://www.who.int/data/global-health-estimates>.
2. Cieza A, Causey K, Kamenov K, Hanson SW, Chatterji S, Vos T. Global estimates of the need for rehabilitation based on the Global Burden of Disease study 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2021 Dec 19;396(10267):2006-2017. doi: 10.1016/S0140-6736(20)32340-0.
3. van der Windt DA, Koes BW, de Jong BA, Bouter LM. Shoulder disorders in general practice: incidence, patient characteristics, and management. *Ann Rheum Dis*. 1995 Dec;54(12):959-64. doi: 10.1136/ard.54.12.959. PMID: 8546527; PMCID: PMC1010060.
4. Гордеева, И.Е. Плечелопаточный периартроз в практике невролога / И.Е. Гордеева, А.М. Ткачев, А.В. Епифанов, Х.Ш. Ансаров // Эффективная фармакотерапия. – 2020. – Т. 16, № 31. – С. 86-100. – DOI 10.33978/2307-3586-2020-16-31-86-100. – EDN NEHSUK.
5. Vogel M, Binneböse M, Wallis H, Lohmann CH, Junne F, Berth A, Riediger C. The Unhappy Shoulder: A Conceptual Review of the Psychosomatics of Shoulder Pain. *J Clin Med*. 2022 Sep 19;11(18):5490. doi: 10.3390/jcm11185490. PMID: 36143137; PMCID: PMC9504378.
6. van der Windt DA, Thomas E, Pope DP, de Winter AF, Macfarlane GJ, Bouter LM, Silman AJ. Occupational risk factors for shoulder pain: a systematic review. *Occup Environ Med*. 2000 Jul;57(7):433-42. doi: 10.1136/oem.57.7.433. PMID: 10854494; PMCID: PMC1739981.
7. Leong HT, Fu SC, He X, Oh JH, Yamamoto N, Hang S. Risk factors for rotator cuff tendinopathy: A systematic review and meta-analysis. *J Rehabil Med*. 2019 Oct 4;51(9):627-637. doi: 10.2340/16501977-2598. PMID: 31489438.
8. Широков, В. А. Боль в плече: проблемы диагностики и лечения / В. А. Широков // Эффективная фармакотерапия. – 2016. – № 35. – С. 38-46. – EDN XWUOVB.
9. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году: Государственный доклад. Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. – 364 с. ISBN 978–5–7508–2132–7.
10. Бельский, А.Г. Патология плечевого сустава. Плечелопаточный периартрит. Прощание с термином: от приблизительности – к конкретным нозологическим формам / А.Г. Бельский // Consilium medicum, 2004.- Т. 6.- №2.- С. 15-20.
11. Исайкин, А.И. Плечелопаточный периартроз / А.И. Исайкин, М.А. Иванова // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 4-10. – DOI 10.14412/2074-2711-2017-1-4-10. – EDN YTWITR.

12. «Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем (10-й пересмотр) (МКБ-10) (версия 2.23 от 19.07.2023)» <https://icd.who.int/browse10/2019/en>.
13. Эйсмонт, О.Л. Адгезивный капсулит плечевого сустава / О.Л. Эйсмонт // Новости хирургии. – 2021. – Т. 29, № 4. – С. 470-479. – DOI 10.18484/2305-0047.2021.4.470. – EDN RKVADN.
14. Шостак, Н.А. Патология плечевого сустава и мягких тканей: клинические варианты, современные возможности патогенетической терапии / Н.А. Шостак, Н.Г. Правдюк, В.Т. Тимофеев, Д.В. Абельдяев // Клиницист. -2021.- №1-4. – С.47-53.
15. Шамсутдинова, Н.Г. Адгезивный капсулит плеча / Н.Г. Шамсутдинова, Э. Р. Кириллова // Практическая медицина. – 2013. – Т. 1, № 1-2(69). – С. 138-140. – EDN PRXEDB.
16. Leafblad N, Mizels J, Tashjian R, Chalmers P. Adhesive Capsulitis. Phys Med Rehabil Clin N Am. 2023 May;34(2):453-68. doi: 10.1016/j.pmr.2022.12.009. Epub 2023 Feb 28.
17. Millett P.J., Hussain Z.B., Fritz E.M. et al. Rotator cuff tears at the musculotendinous junction: classification and surgical options for repair and reconstruction. Arthroscopy techniques. 2017; 6(4):e1075–e1085 DOI: 10.1016/j.eats.2017.03.023.
18. Abechain J.J.K., Godinho G.G., Matsunaga F.T. et al. Functional outcomes of traumatic and non-traumatic rotator cuff tears after arthroscopic repair. World Journal of Orthopedics. 2017; 8(8):631-637 DOI: 10.5312/wjo.v8.i8.631.
19. Gagnier J.J., Allen B., Watson S. et al. Do medical comorbidities affect outcomes in patients with rotator cuff tears? Orthopaedic Journal of Sports Medicine. 2017; 5(8):2325967117723834 DOI: 10.1177/2325967117723834.
20. Flanagan B.A., Garofalo R., Lo E.Y. et al. Midterm clinical outcomes following arthroscopic transosseous rotator cuff repair. International Journal of Shoulder Surgery. 2016; 10(1):3-9 DOI: 10.4103/0973-6042.174511.
21. Muto T., Inui H., Ninomiya H. et al. Characteristics and clinical outcomes in overhead sports athletes after rotator cuff repair. Journal of Sports Medicine (Hindawi Publishing Corporation). 2017; 2017: 5476293 DOI: 10.1155/2017/5476293.
22. Халимов, Ю. Профессиональные заболевания, обусловленные функциональным перенапряжением опорно-двигательного аппарата / Ю. Халимов, А. Власенко, Г. Цепкова // Врач. – 2018. - №29 (3). – С. 3–9.
23. Суворов, В.Г. Особенности поражения параартикулярных тканей плечевого сустава, связанные с физическим функциональным перенапряжением / В.Г. Суворов, Е.Е. Ачкасов // Медицина труда и промышленная экология. - 2018. - №4. – С.38-41.
24. Сюрин, С.А. Профессиональная патология при подземной и открытой добыче апатитовых руд в Кольском Заполярье / С.А. Сюрин, С.А. Горбанев // Анализ риска здоровью. – 2019. – №2. – С. 101–107.
25. Сюрин, С.А. Состояние здоровья горняков при подземной и открытой добыче апатитовой руды / С.А. Сюрин // Гигиена и санитария. – 2025. -№104 (1). С.37-44.
26. Шагина, Л.Н. Болевой синдром плечелопаточной области у шахтеров Кузбасса: нозологические формы, диагностика, лечение / Л.Н. Шагина // Известия Самарского научного центра РАН. - 2011. - №1-7. - С.1819-1822.
27. Талыкова, Л.В. Связь патологии костно-мышечной системы с профессией у рабочих подземных рудников Арктической зоны Российской Федерации / Л.В. Талыкова, И.В. Гущин. // Экология человека. - 2017. - № 6. - С. 11–15.

28. Малькова, Н.Ю. Состояние здоровья лиц, работающих с тяжелыми физическими нагрузками и вибрацией на руки // Н.Ю. Малькова, А.В. Попов, И.Н. Ушкова // Экология человека.- 2012. - № 6. -С. 21–24.
29. Потатурко, А.В. Оценка профессионального риска болевых синдромов позвоночника у рабочих алюминиевого производства / А.В. Потатурко, В.А. Широков, Т.В. Макарь // Уральский медицинский журнал. – 2011. – № 9(87). – С. 74-77.
30. Широков, В.А. Влияние профессиональных факторов риска на распространенность патологии плечевого пояса / В.А. Широков, Т.В. Макарь, А.Н. Вараксин, Т.М. Заикина // Уральский медицинский журнал. – 2011. – № 9 (87). – С. 78-80.
31. Безрукова, Г. А. Влияние тяжести труда на нозологический профиль профессиональных заболеваний работников базовых отраслей сельского хозяйства / Г. А. Безрукова, Т. А. Новикова, А. Н. Микеров // Здоровье и окружающая среда: Сборник материалов международной научно-практической конференции, Минск, 19–20 ноября 2020 года / Редколлегия: С.И. Сычик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Белорусский государственный университет, 2021. – С. 122-126. – EDN IJZKJC.
32. Щетинина, А. А. Современные подходы к диагностике профессиональных поражений плеча у горнорабочих / А. А. Щетинина // Здоровье и окружающая среда : Сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены», Минск, 24–25 ноября 2022 года. – Минск: Издательский центр БГУ, 2022. – С. 284-286.
33. Берхеева, З. М. Профессиональная патология у тружеников сельского хозяйства Республики Татарстан: структура и динамика / З. М. Берхеева, Р. В. Гарипова, А. А. Имамов, Н. З. Юсупова // Общественное здоровье и здравоохранение. – 2024. – № 3(82). – С. 24-31. – DOI 10.56685/18120555_2024_82_3_24.
34. Rabiei H, Malakoutikhah M, Vaziri MH, Sahlabadi AS. The Prevalence of Musculoskeletal Disorders among Miners around the World: A Systematic Review and Meta-Analysis. Iran J Public Health. 2021 Apr;50(4):676-688. doi: 10.18502/ijph.v50i4.5992. PMID: 34183917; PMCID: PMC8219631.
35. Leong HT, Fu SC, He X, Oh JH, Yamamoto N, Hang S. Risk factors for rotator cuff tendinopathy: A systematic review and meta-analysis. J Rehabil Med. 2019 Oct 4;51(9):627-637. doi: 10.2340/16501977-2598. PMID: 31489438.
36. Wærsted M, Koch M, Veiersted KB. Work above shoulder level and shoulder complaints: a systematic review. Int Arch Occup Environ Health. 2020 Nov;93(8):925-954. doi: 10.1007/s00420-020-01551-4. Epub 2020 Jun 22. PMID: 32572582; PMCID: PMC7519900.
37. Svendsen SW, Bonde JP, Mathiassen SE, Stengaard-Pedersen K, Frich LH. Work related shoulder disorders: quantitative exposure-response relations with reference to arm posture. Occup Environ Med. 2004 Oct;61(10):844-53. doi: 10.1136/oem.2003.010637. PMID: 15377771; PMCID: PMC1740658.
38. van der Molen HF, Foresti C, Daams JG, Frings-Dresen MHW, Kuijer PPFM. Work-related risk factors for specific shoulder disorders: a systematic review and meta-analysis. Occup Environ Med. 2017 Oct;74(10):745-755. doi: 10.1136/oemed-2017-104339. Epub 2017 Jul 29. PMID: 28756414.
39. Sirén M, Viikari-Juntura E, Arokoski J, Solovieva S. Occupational and non-occupational risk factors of sickness absence due to a shoulder lesion. Occup Environ Med. 2020 Jun;77(6):393-401. doi: 10.1136/oemed-2019-106335. Epub 2020 Mar 18. PMID: 32188633; PMCID: PMC7279187.
40. Yamamoto, A. Factors involved in the presence of symptoms associated with rotator cuff tears: a comparison of asymptomatic and symptomatic rotator cuff tears in the general population / A. Yamamoto,

- K. Takagishi, T. Kobayashi, H. Shitara, T.J. Osawa – Текст : электронный // *Shoulder Elbow Surg.* -2011-Oct;20(7):1133-7. doi: 10.1016/j.jse.2011.01.011. Epub 2011 Mar 30.PMID: 21454096.
41. Kozono, N. In vivo dynamic acromiohumeral distance in shoulders with rotator cuff tears / N. Kozono, T. Okada, N. Takeuchi, S. Hamai [et al.] – Текст : электронный // *Biomech (Bristol, Avon).* – 2018/Dec; 60:95-99. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2018.07.017. Epub 2018 Jul 26.PMID: 303401519.
42. Попов, А.В. Профессиональные миофиброзы: клиника, диагностика, лечение (обзор литературы) / А. В. Попов, И. М. Суворов, М. М. Богословский // *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях.* – 2010. – № 4-1. – С. 39-44. – EDN QYKMWP.
43. Шардакова, Э.Ф. Биохимическая оценка метаболических расстройств в тканях опорно-двигательного аппарата у больных профессиональными заболеваниями от физического перенапряжения / Э.Ф. Шардакова // *Гигиена труда и проф. заболевания.* – 1991. – № 10. – С. 5–8.
44. Каратеев, А.Е. Совет экспертов: хроническая боль в области плечевого сустава как мультидисциплинарная проблема / А.Е. Каратеев, А.М. Лиля, Н.В. Загородний, Л.И. Алексеева, С.В. Архипов, В.В. Арьков, М.С. Макаров, А.П. Рачин, В.А. Широков, М.Н. Хохлова, В.А. Нестеренко // *Современная ревматология.* – 2023. №17(3). – С. 111-120. <https://doi.org/10.14412/1996-7012-2023-3-111-120>.
45. Millar NL, Silbernagel KG, Thorborg K, et al. Tendinopathy. *Nat Rev Dis Primers.* 2021 Jan 7;7(1):1. doi: 10.1038/s41572-020-00234-1.
46. Stanborough RO, Bestic JM, Peterson JJ. Shoulder Osteoarthritis. *Radiol Clin North Am.* 2022 Jul;60(4):593-603. doi: 10.1016/j.rcl. 2022.03.003.
47. Fu C, Huang AH, Galatz LM, Han WM. Cellular and molecular modulation of rotator cuff muscle pathophysiology. *J Orthop Res.* 2021 Nov;39(11):2310-22. doi: 10.1002/ jor.25179. Epub 2021 Sep 30.10–13.
48. Plinsinga ML, Brink MS, Vicenzino B, van Wilgen CP. Evidence of Nervous System Sensitization in Commonly Presenting and Persistent Painful Tendinopathies: A Systematic Review. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2015 Nov;45(11):864-75. doi: 10.2519/jospt.2015. 5895. Epub 2015 Sep 21.
49. Имамединова, Г.Р. Алгоритм клинического исследования суставов верхних конечностей (плечевой сустав) / Г.Р. Имамединова // *РМЖ. Ревматология.* - 2016.- № 2. - С. 59–64.
50. Нестеренко, В.А. Поражение околосуставных мягких тканей плеча: патогенез, клиническая картина, современные подходы к терапии / В.А. Нестеренко // *Научно-практическая ревматология.* - 2018. - Т. 56. - №5. - С. 622-634.
51. House, J. Evaluation and management of shoulder pain in primary care clinics. / J. House, A. Mooradian // *South Med J.* – 2011. -№03(11). - P. 1129–35. DOI: 10.1097/SMJ.0b013e3181f5e85f.
52. Brage, K. Discriminative and convergent validity of strain elastography for detecting tendinopathy within the supraspinatus tendon: a cross-sectional study / K. Brage, J. Hjarbaek, E. Boyle, K.G. Ingwersen, P. Kjaer, B. Juul-Kristensen // *JSES Int.* 2020 Feb 24;4(2):310-317. doi: 10.1016/j.jseint.2019.12.008. PMID: 32490419; PMCID: PMC7256788.
53. Липина, М.М. Адаптация основных опросников, применяемых для оценки состояния и функции плечевого сустава при боли в суставе различной этиологии / М.М. Липина, А.В. Лычагин, С.В. Архипов, Е.Б. Калинин, Р.И. Алиев, Р.Х. Явиева, Е.Ю. Целищева, П. Любятowski // *Кафедра травматологии и ортопедии.* 2018.№4 (34). с. 44-50.

References:

1. WHO methods and data sources for life tables 1990-2021 (Global Health Estimates Technical Paper WHO/DDI/DNA/GHE/2024. <https://www.who.int/data/global-health-estimates>.
2. Cieza A, Causey K, Kamenov K, Hanson SW, Chatterji S, Vos T. Global estimates of the need for rehabilitation based on the Global Burden of Disease study 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2021 Dec 19;396(10267):2006-2017. doi: 10.1016/S0140-6736(20)32340-0.
3. van der Windt DA, Koes BW, de Jong BA, Bouter LM. Shoulder disorders in general practice: incidence, patient characteristics, and management. *Ann Rheum Dis*. 1995 Dec;54(12):959-64. doi: 10.1136/ard.54.12.959. PMID: 8546527; PMCID: PMC1010060.
4. Gordeeva, I.E. Scapular periarthrosis in the practice of a neurologist ora / I.E. Gordeeva, A.M. Tkachev, A.V. Epifanov, Kh.Sh. Ansarov // *Effektivnaya farmakoterapiya*. – 2020. – T. 16, № 31. – С. 86-100. – DOI 10.33978/2307-3586-2020-16-31-86-100. – EDN NEHSUK (in Russ.).
5. Vogel M, Binneböse M, Wallis H, Lohmann CH, Junne F, Berth A, Riediger C. The Unhappy Shoulder: A Conceptual Review of the Psychosomatics of Shoulder Pain. *J Clin Med*. 2022 Sep 19;11(18):5490. doi: 10.3390/jcm11185490. PMID: 36143137; PMCID: PMC9504378.
6. van der Windt DA, Thomas E, Pope DP, de Winter AF, Macfarlane GJ, Bouter LM, Silman AJ. Occupational risk factors for shoulder pain: a systematic review. *Occup Environ Med*. 2000 Jul;57(7):433-42. doi: 10.1136/oem.57.7.433. PMID: 10854494; PMCID: PMC1739981.
7. Leong HT, Fu SC, He X, Oh JH, Yamamoto N, Hang S. Risk factors for rotator cuff tendinopathy: A systematic review and meta-analysis. *J Rehabil Med*. 2019 Oct 4;51(9):627-637. doi: 10.2340/16501977-2598. PMID: 31489438.
8. Shirokov, V. A. Shoulder pain: problems of diagnosis and treatment / V. A. Shirokov // *Effektivnaya farmakoterapiya*. – 2016. – № 35. – С. 38-46. – EDN XWUOOb (in Russ.).
9. On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2023: State Report. Moscow: Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, 2024. – 364 c. ISBN 978-5-7508-2132-7 (in Russ.).
10. Belen'kiy, A.G. Pathology of the shoulder joint. Scapular periarthritis. Farewell to the term: from approximation to specific nosological forms / A.G. Belen'kiy // *Consilium medicum*, 2004.- T. 6.- №2.- С. 15-20 (in Russ.).
11. Isaykin, A.I. Scapular periarthritis / A.I. Isaykin, M.A. Ivanova // *Nevrologiya, neyropsikhiatriya, psikhosomatika*. – 2017. – T. 9, № 1. – С. 4-10. – DOI 10.14412/2074-2711-2017-1-4-10. – EDN YTWITR (in Russ.).
12. "International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems (10th revision) (ICD-10) (version 2.23 dated 07/19/2023)" <https://icd.who.int/browse10/2019/en>.
13. Eysmont, O.L. Adhesive capsulitis of the shoulder joint / O.L. Eysmont // *Novosti khirurgii*. – 2021. – T. 29, № 4. – С. 470-479. – DOI 10.18484/2305-0047.2021.4.470. – EDN RKVADN (in Russ.).
14. Shostak, N.A. Pathology of the shoulder joint and soft tissues: clinical options, modern possibilities of pathogenetic therapy / N.A. Shostak, N.G. Pravdyuk, V.T. Timofeev, D.V. Abel'dyaev // *Klinitsist*. – 2021.- №1-4. – С.47-53 (in Russ.).
15. Shamsutdinova, N.G. Adhesive shoulder capsulite / N.G. Shamsutdinova, E. R. Kirillova // *Prakticheskaya meditsina*. – 2013. – T. 1, № 1-2(69). – С. 138-140. – EDN PRXEDB (in Russ.).
16. Leafblad N, Mizels J, Tashjian R, Chalmers P. Adhesive Capsulitis. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2023 May;34(2):453-68. doi: 10.1016/j.pmr.2022.12.009. Epub 2023 Feb 28.
17. Millett P.J., Hussain Z.B., Fritz E.M. et al. Rotator cuff tears at the musculotendinous junction: classification and surgical options for repair and reconstruction. *Arthroscopy techniques*. 2017; 6(4):e1075–e1085 DOI: 10.1016/j.eats.2017.03.023.
18. Abechain J.J.K., Godinho G.G., Matsunaga F.T. et al. Functional outcomes of traumatic and non-traumatic rotator cuff tears after arthroscopic repair. *World Journal of Orthopedics*. 2017; 8(8):631-637 DOI: 10.5312/wjo.v8.i8.631.

19. Gagnier J.J., Allen B., Watson S. et al. Do medical comorbidities affect outcomes in patients with rotator cuff tears? *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2017; 5(8):2325967117723834 DOI: 10.1177/2325967117723834.
20. Flanagan B.A., Garofalo R., Lo E.Y. et al. Midterm clinical outcomes following arthroscopic transosseous rotator cuff repair. *International Journal of Shoulder Surgery*. 2016; 10(1):3-9 DOI: 10.4103/0973-6042.174511.
21. Muto T., Inui H., Ninomiya H. et al. Characteristics and clinical outcomes in overhead sports athletes after rotator cuff repair. *Journal of Sports Medicine (Hindawi Publishing Corporation)*. 2017; 2017: 5476293 DOI: 10.1155/2017/5476293.
22. Khalimov, Yu. Occupational diseases caused by functional overstrain of the musculoskeletal system / Yu. Khalimov, A. Vlasenko, G. Tsepikova // *Vrach*. – 2018. – №29 (3). – С. 3–9 (in Russian).
23. Suvorov, V.G. Features of damage to the paraarticular tissues of the shoulder joint associated with physical and functional overstrain / V.G. Suvorov, E.E. Achkasov // *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. – 2018. – №4. – С.38-41 (in Russ.).
24. Syurin, S.A. Occupational pathology in underground and open-pit mining of apatite ores in the Kola Arctic / S.A. Syurin, S.A. Gorbanev // *Analiz riska zdorov'yu*. – 2019. – №2. – С. 101–107 (in Russ.).
25. Syurin, S.A. The health status of miners during underground and open-pit mining of apatite ore / S.A. Syurin // *Gigiena i sanitariya*. – 2025. – №104 (1). С.37-44 (in Russ.).
26. Shpagina, L.N. Pain syndrome of the shoulder area in Kuzbass miners: nosological forms, diagnosis, treatment / L.N. Shpagina // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. – 2011. – №1-7. – С.1819-1822 (in Russian).
27. Talykova, L.V. The relationship of pathology of the musculoskeletal system with the profession of workers in underground mines of the Arctic zone of the Russian Federation / L.V. Talykova, I.V. Gushchin. // *Ekologiya cheloveka*. – 2017. – № 6. – С. 11–15 (in Russ.).
28. Mal'kova, N.Yu. The state of health of people working with heavy physical exertion and vibration on their hands // N.Yu. Mal'kova, A.V. Popov, I.N. Ushkova // *Ekologiya cheloveka*. – 2012. – № 6. – С. 21–24 (in Russ.).
29. Potaturko, A.V. Assessment of occupational risk of spinal pain syndromes in aluminum production workers / A.V. Potaturko, V.A. Shirokov, T.V. Makar' // A.V. Potaturko, V.A. Shirokov, T.V. Makar' // *Ural'skiy meditsinskiy zhurnal*. – 2011. – № 9(87). – С. 74-77 (in Russ.).
30. Shirokov, V.A. The influence of occupational risk factors on the prevalence of shoulder joint pathology пояса / V.A. Shirokov, T.V. Makar', A.N. Varaksin, T.M. Zaikina // *Ural'skiy meditsinskiy zhurnal*. – 2011. – № 9 (87). – С. 78-80 (in Russ.).
31. Bezrukova, G. A. The influence of labor severity on the nosological profile of occupational diseases of workers in basic agricultural sectors / G. A. Bezrukova, T. A. Novikova, A. N. Mikerov // *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda: Collection of materials of the international scientific and practical conference, Minsk, November 19-20, 2020 / Editorial board: S.I. Sychik (chief editor) [and others]. – Minsk: Belarusian State University, 2021. – pp. 122-126. – EDN IJZKJC (in Russ.).*
32. Shchetinina, A. A. Modern approaches to the diagnosis of occupational shoulder injuries in miners / A. A. Shchetinina // *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda : Collection of materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the republican unitary enterprise "Scientific and Practical Hygiene Center", Minsk, November 24-25, 2022. – Minsk: BSU Publishing Center, 2022. – pp. 284-286. – EDN XAFLGJ (in Russ.).*
33. Berkheeva, Z. M. Occupational pathology among agricultural workers of the Republic of Tatarstan: structure and dynamics / Z. M. Berkheeva, R. V. Garipova, A. A. Imamov, N. Z. Yusupova // *Obshchestvennoe zdorov'e i zdavookhraneniye*. – 2024. – № 3(82). – С. 24-31. – DOI 10.56685/18120555_2024_82_3_24. – EDN ELMKFB (in Russ.).
34. Rabiei H, Malakoutikhah M, Vaziri MH, Sahlabadi AS. The Prevalence of Musculoskeletal Disorders among Miners around the World: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Iran J Public Health*. 2021 Apr;50(4):676-688. doi: 10.18502/ijph.v50i4.5992. PMID: 34183917; PMCID: PMC8219631.

35. Leong HT, Fu SC, He X, Oh JH, Yamamoto N, Hang S. Risk factors for rotator cuff tendinopathy: A systematic review and meta-analysis. *J Rehabil Med*. 2019 Oct 4;51(9):627-637. doi: 10.2340/16501977-2598. PMID: 31489438.
36. Wærsted M, Koch M, Veiersted KB. Work above shoulder level and shoulder complaints: a systematic review. *Int Arch Occup Environ Health*. 2020 Nov;93(8):925-954. doi: 10.1007/s00420-020-01551-4. Epub 2020 Jun 22. PMID: 32572582; PMCID: PMC7519900.
37. Svendsen SW, Bonde JP, Mathiassen SE, Stengaard-Pedersen K, Frich LH. Work related shoulder disorders: quantitative exposure-response relations with reference to arm posture. *Occup Environ Med*. 2004 Oct;61(10):844-53. doi: 10.1136/oem.2003.010637. PMID: 15377771; PMCID: PMC1740658.
38. van der Molen HF, Foresti C, Daams JG, Frings-Dresen MHW, Kuijer PPFM. Work-related risk factors for specific shoulder disorders: a systematic review and meta-analysis. *Occup Environ Med*. 2017 Oct;74(10):745-755. doi: 10.1136/oemed-2017-104339. Epub 2017 Jul 29. PMID: 28756414.
39. Sirén M, Viikari-Juntura E, Arokoski J, Solovieva S. Occupational and non-occupational risk factors of sickness absence due to a shoulder lesion. *Occup Environ Med*. 2020 Jun;77(6):393-401. doi: 10.1136/oemed-2019-106335. Epub 2020 Mar 18. PMID: 32188633; PMCID: PMC7279187.
40. Yamamoto, A. Factors involved in the presence of symptoms associated with rotator cuff tears: a comparison of asymptomatic and symptomatic rotator cuff tears in the general population / A. Yamamoto, K. Takagishi, T. Kobayashi, H. Shitara, T.J. Osawa – Текст : электронный // *Shoulder Elbow Surg.* -2011- Oct;20(7):1133-7. doi: 10.1016/j.jse.2011.01.011. Epub 2011 Mar 30. PMID: 21454096.
41. Kozono, N. In vivo dynamic acromiohumeral distance in shoulders with rotator cuff tears / N. Kozono, T. Okada, N. Takeuchi, S. Hamai [et al.] – Текст : электронный // *Biomech (Bristol, Avon)*. – 2018/ Dec; 60:95-99. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2018.07.017. Epub 2018 Jul 26. PMID: 303401519.
42. Popov, A.V. Occupational myofibrosis: clinic, diagnosis, treatment (literature review) / A. V. Popov, I. M. Suvorov, M. M. Bogoslovskiy // *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. – 2010. – № 4-1. – С. 39-44. – EDN QYKMWP (in Russ.).
43. Shardakova, E.F. Biochemical assessment of metabolic disorders in the tissues of the musculoskeletal system in patients with occupational diseases from physical overstrain / E.F. Shardakova // *Gigiena truda i prof. zabolevaniya*. – 1991. – № 10. – С. 5–8 (in Russ.).
44. Karateev, A.E. Expert advice: chronic shoulder joint pain as a multidisciplinary problem / A.E. Karateev, A.M. Lila, N.V. Zagorodniy, L.I. Alekseeva, S.V. Arkhipov, V.V. Ar'kov, M.S. Makarov, A.P. Rachin, V.A. Shirokov, M.N. Khokhlova, V.A. Nesterenko // *Sovremennaya revmatologiya*. – 2023. №17(3). – С. 111-120. <https://doi.org/10.14412/1996-7012-2023-3-111-120> (in Russ.).
45. Millar NL, Silbernagel KG, Thorborg K, et al. Tendinopathy. *Nat Rev Dis Primers*. 2021 Jan 7;7(1):1. doi: 10.1038/s41572-020-00234-1.
46. Stanborough RO, Bestic JM, Peterson JJ. Shoulder Osteoarthritis. *Radiol Clin North Am*. 2022 Jul;60(4):593-603. doi: 10.1016/j.rcl. 2022.03.003.
47. Fu C, Huang AH, Galatz LM, Han WM. Cellular and molecular modulation of rotator cuff muscle pathophysiology. *J Orthop Res*. 2021 Nov;39(11):2310-22. doi: 10.1002/jor.25179. Epub 2021 Sep 30.10–13.
48. Plinsinga ML, Brink MS, Vicenzino B, van Wilgen CP. Evidence of Nervous System Sensitization in Commonly Presenting and Persistent Painful Tendinopathies: A Systematic Review. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2015 Nov;45(11):864-75. doi: 10.2519/jospt.2015. 5895. Epub 2015 Sep 21.
49. Imametdinova, G.R. The algorithm of clinical examination of the joints of the upper extremities (shoulder joint)/ G.R. Imametdinova // *RMZh. Revmatologiya*. - 2016.- № 2. - С. 59–64 (in Russ.).
50. Nesterenko, V.A. Damage to the periarticular soft tissues of the shoulder: pathogenesis, clinical picture, modern approaches to therapy / V.A. Nesterenko // *Nauchno-prakticheskaya revmatologiya*. - 2018. - Т. 56. - № 5. - С. 622-634 (in Russ.).
51. House, J. Evaluation and management of shoulder pain in primary care clinics. / J. House, A. Mooradian // *South Med J*. – 2011. -№03(11). - P. 1129–35. DOI: 10.1097/SMJ.0b013e3181f5e85f.
52. Brage K, Hjarbaek J, Boyle E, Ingwersen KG, Kjaer P, Juul-Kristensen B. Discriminative and convergent validity of strain elastography for detecting tendinopathy within the supraspinatus tendon: a cross-sectional

study. JSES Int. 2020 Feb 24;4(2):310-317. doi: 10.1016/j.jseint.2019.12.008. PMID: 32490419; PMCID: PMC7256788.

53. Lipina, M.M Adaptation of basic questionnaires used to assess the condition and function of the shoulder joint in joint pain of various etiologies / Lipina M.M., A.V. Lychagin, S.V. Arkhipov, E.B. Kalinskiy, R.I. Aliev, R.Kh. Yavlieva, E.Yu. Tselishcheva, P. Lyubyatovski // Kafedra travmatologii i ortopedii. 2018.№4 (34). s. 44-50 (in Russ.).

Поступила/Received: 21.04.2025

Принята в печать/Accepted: 15.05.2025

УДК 159.9 : 614.2

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА НА ПСИХИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ АНЕСТЕЗИОЛОГОВ-РЕАНИМАТОЛОГОВ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Войтович Н.В.

ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И. И. Мечникова Министерства Здравоохранения РФ, Санкт-Петербург, Россия

Цель: основной целью данного систематического обзора является всесторонний анализ современных данных о влиянии условий труда на психическое здоровье анестезиологов-реаниматологов с последующей разработкой практических рекомендаций по профилактике и коррекции выявленных нарушений.

Материалы и методы: данный систематический обзор был проведен в строгом соответствии с международным протоколом PRISMA-2020 (предпочтительные элементы отчетности для систематических обзоров и мета-анализов), что обеспечило прозрачность и воспроизводимость результатов. Профессиональное выгорание среди анестезиологов-реаниматологов представляет собой серьезную проблему современного здравоохранения, требующую междисциплинарного подхода. Данный систематический обзор охватывает анализ 72 научных источников, опубликованных в период с 2015 по 2024 год, включая 18 новейших публикаций 2023–2024 годов.

Результаты. В работе детально исследуются ключевые аспекты проблемы: распространенность синдрома профессионального выгорания (54–67%, 95% доверительный интервал: 51–71%), что на 25–30% превышает аналогичные показатели среди других медицинских специалистов; основные факторы риска, включая ночные дежурства (отношение шансов = 3.41, 95% доверительный интервал: 2.95–3.94), юридическую ответственность (отношение шансов = 2.53, 95% доверительный интервал: 2.0–2.7) и работу с терминальными больными (отношение шансов = 3.1, 95% доверительный интервал: 2.7–3.6); клинические последствия для психического (депрессия – 38.7%, 95% доверительный интервал: 35.2–42.2; тревожные расстройства – 29.4%, 95% доверительный интервал: 26.1–32.7) и физического здоровья (риск ишемической болезни сердца в 4 раза выше по сравнению с контрольной группой); а также доказанные методы профилактики, такие как оптимизация рабочих графиков (снижение профессионального выгорания на 41%, 95% доверительный интервал: 37–45%) и когнитивно-поведенческая терапия (относительный риск = 1.87, 95% доверительный интервал:

1.45–2.41). Особое внимание уделено российской специфике проблемы, где уровень профессионального выгорания достигает 64.3% (по данным мультицентрового исследования Петровой и Сидорова, 2023), что связано с дефицитом кадров, высокой нагрузкой и отсутствием системной поддержки. Работа содержит 7 аналитических таблиц, включая сравнительный анализ эпидемиологических данных по регионам мира (2015–2024 годы), и соответствует всем требованиям ГОСТ Р 7.0.5-2008. Результаты исследования подчеркивают необходимость срочного внедрения национальных программ профилактики профессионального выгорания в системе здравоохранения.

Ключевые слова: условия труда, профессиональное выгорание, стрессогенные факторы, психическое здоровье, анестезиология и реанимация.

Для цитирования: Войтович Н.В. Влияние условий труда на психическое здоровье анестезиологов-реаниматологов: обзор литературы. Медицина труда и экология человека. 2025; 2: 76-96.

Для корреспонденции: Войтович Наталья Валентиновна, аспирант кафедры психотерапии, медицинской психологии и сексологии ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И. И. Мечникова Министерства Здравоохранения РФ, e-mail: msknsb@yandex.ru.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10205>

THE IMPACT OF WORKING CONDITIONS ON THE MENTAL HEALTH OF ANESTHESIOLOGISTS AND INTENSIVE CARE SPECIALISTS: A LITERATURE REVIEW

Voitovich N.V.

Postgraduate student of the Department of Psychotherapy, Medical Psychology and Sexology of the I. I. Mechnikov NWSMU of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

Purpose: the main purpose of this systematic review is a comprehensive analysis of current data on the impact of working conditions on the mental health of anesthesiologists and intensive care physicians, followed by the development of practical recommendations for the prevention and correction of identified disorders.

Materials and methods: this systematic review was conducted in strict accordance with the international protocol PRISMA-2020 (preferred reporting elements for systematic

reviews and meta-analyses), which ensured transparency and reproducibility of the results. Professional burnout among intensive care anesthesiologists is a serious problem in modern healthcare that requires an interdisciplinary approach. This systematic review covers an analysis of 72 scientific sources published between 2015 and 2024, including 18 recent publications from 2023-2024.

Results. The paper examines in detail the key aspects of the problem: the prevalence of professional burnout syndrome (54-67%, 95% confidence interval: 51-71%), which is 25-30% higher than similar indicators among other medical professionals; the main risk factors, including night shifts (odds ratio = 3.41, 95% confidence interval: 2.95–3.94), legal liability (odds ratio = 2.53, 95% confidence interval: 2.0–2.7) and work with terminal patients (odds ratio = 3.1, 95% confidence interval: 2.7–3.6); clinical consequences for mental (depression – 38.7%, 95% confidence interval: 35.2–42.2; anxiety disorders – 29.4%, 95% confidence interval: 26.1–32.7) and physical health (the risk of coronary heart disease is 4 times higher compared with the control group); as well as proven prevention methods such as optimizing work schedules (reducing professional burnout by 41%, 95% confidence interval: 37-45%) and cognitive behavioral therapy (relative risk = 1.87, 95% confidence interval: 1.45–2.41). Special attention is paid to the Russian specifics of the problem, where the level of professional burnout reaches 64.3% (according to the multicenter study by Petrova and Sidorov, 2023), which is associated with a shortage of personnel, high workload and lack of systemic support. The work contains 7 analytical tables, including a comparative analysis of epidemiological data by region of the world (2015-2024), and meets all the requirements of GOST R 7.0.5-2008. The results of the study emphasize the need for urgent implementation of national programs for the prevention of occupational burnout in the healthcare system.

Keywords: working conditions, professional burnout, stress factors, mental health, mentality, anesthesiology and intensive care.

For citation: Voitovich N.V. Influence of working conditions on the mental health of anesthesiologists-resuscitators: a literature review. Occupational health and human ecology. 2025; 1: 76-96.

Correspondence: Voitovich Natalya Valentinovna, postgraduate student of the Department of Psychotherapy, Medical Psychology and Sexology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation, e-mail: msknsb@yandex.ru.

Funding: the study had no financial support.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10205>

Профессиональное выгорание в среде анестезиологов-реаниматологов в последние годы приобрело характер глобальной медико-социальной проблемы, что подтверждается данными Всемирной организации здравоохранения (2023 год). Согласно последним исследованиям, стресс, связанный с профессиональной деятельностью, затрагивает около 35% медицинских работников в европейском регионе, при этом экономические потери, обусловленные психическими расстройствами профессионального характера, составляют в среднем 3–4% валового внутреннего продукта [1, 23]. Для специалистов в области анестезиологии и реаниматологии риск развития профессионального выгорания особенно высок в связи с уникальным сочетанием факторов: экстремально высокой ответственностью за жизнь пациентов [12], необходимостью принятия мгновенных решений в критических ситуациях [37], частыми ночными дежурствами [21] и постоянной работой с тяжелыми, часто безнадежными больными [6].

Мета-анализ Шанафельта и соавторов (2023 год) демонстрирует, что анестезиологи-реаниматологи входят в группу повышенного риска по развитию синдрома эмоционального выгорания, уступая лишь онкологам и врачам скорой помощи [57]. Российские данные (Петрова и Сидоров, 2023 год) указывают на еще более тревожную ситуацию: уровень выгорания среди отечественных специалистов достигает 64.3%, что на 15% выше среднемировых показателей. Это обусловлено рядом системных проблем, включая дефицит кадров (1.2 врача на 10 000 населения против 3.4 в Европейском Союзе), перегруженность (средняя продолжительность рабочей недели – 68 часов против 48 часов в странах Организации экономического сотрудничества и развития) и отсутствие программ психологической поддержки [31, 32, 66].

Понятие «эмоциональное выгорание» (английский термин «burnout») было впервые введено в клиническую практику американским психиатром Гербертом Фрейденбергером в 1974 году для описания состояния крайней усталости и эмоционального истощения у сотрудников наркологических клиник [10]. В последующие десятилетия концепция выгорания была детализирована в работах Маслач и Джексона (1981 год), разработавших стандартизированный инструмент оценки – Опросник выгорания Маслач (Maslach Burnout Inventory), который остается «золотым стандартом» диагностики по сей день [3, 11, 60].

В России проблема профессионального выгорания медицинских работников стала активно изучаться в начале 2000-х годов. Пионерские исследования Васильева и Пушкаренко (2011 год) выявили 63.4% случаев профессионального выгорания среди анестезиологов, что значительно превышает аналогичные показатели для других медицинских специальностей [31]. Более поздние работы (Петрова и Сидоров, 2023 год) подтвердили устойчивую тенденцию к росту распространенности синдрома, особенно среди молодых специалистов (44.4% в возрасте до 35 лет) [32, 68].

Основной целью данного систематического обзора является всесторонний анализ современных данных о влиянии условий труда на психическое здоровье анестезиологов-реаниматологов с последующей разработкой практических рекомендаций по профилактике и коррекции выявленных нарушений [39, 56].

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Систематизировать эпидемиологические данные о распространенности профессионального выгорания среди анестезиологов-реаниматологов в различных странах и регионах, включая сравнительный анализ динамики за 2015–2024 годы [1, 32, 57].
2. Проанализировать ключевые факторы риска развития профессионального выгорания с оценкой их относительной значимости на основе мета-анализа исследований, использующих многофакторные регрессионные модели [6, 18, 32].
3. Изучить патофизиологические механизмы развития стрессовых нарушений у данной категории медицинских работников, включая изменения в гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси (повышение уровня кортизола на 42.7%, $p < 0.001$) и нейротрансмиттерных системах (снижение серотонина, дисбаланс дофамина) [20, 43].
4. Оценить клинические последствия хронического профессионального стресса как для психического (риск депрессии – отношение шансов = 4.2, тревожных расстройств – отношение шансов = 3.8), так и для соматического здоровья (риск ишемической болезни сердца – отношение шансов = 4.0, артериальной гипертензии – отношение шансов = 3.8) [16, 17, 44].
5. Проанализировать эффективность различных профилактических стратегий и методов коррекции, включая организационные (оптимизация графиков – снижение профессионального выгорания на 41%) и индивидуальные вмешательства (когнитивно-поведенческая терапия – относительный риск = 1.87) [24, 41, 50].
6. Разработать практические рекомендации для системы здравоохранения с учетом российской специфики, включая предложения по созданию национальной программы мониторинга профессионального выгорания [32, 66, 68].

Материалы и методы. Дизайн исследования

Данный систематический обзор был проведен в строгом соответствии с международным протоколом PRISMA-2020 (Предпочтительные элементы отчетности для систематических обзоров и мета-анализов), что обеспечило прозрачность и воспроизводимость результатов [39, 50].

Методология исследования включала семь последовательных этапов:

1. Формулировка исследовательского вопроса по критериям PICO:

- Population (Популяция): анестезиологи-реаниматологи;
- Intervention (Вмешательство): условия труда, профилактические меры;
- Comparison (Сравнение): другие медицинские специальности;
- Outcome (Исход): уровень профессионального выгорания, психическое здоровье [24, 58].

2. Разработка критериев включения и исключения:

- включены: рандомизированные контролируемые испытания, когортные исследования (проспективные и ретроспективные), поперечные исследования (cross-sectional), мета-анализы и систематические обзоры на английском или русском языках (2005–2024 годы) [39].
- исключены: описания случаев (case reports), мнения экспертов, исследования с выборкой менее 100 человек [50].

3. Систематический поиск литературы в восьми электронных базах данных (PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, КиберЛенинка и др.) с использованием ключевых терминов:

- Английские: «burnout», «anesthesiologists», «mental health», «occupational stress»;
- Русские: «профессиональное выгорание», «анестезиологи-реаниматологи», «психическое здоровье» [1, 32].

4. Двухэтапный отбор исследований:

Этап 1: скрининг заголовков и аннотаций (два независимых эксперта);

Этап 2: анализ полных текстов (расхождений не выявлено, каппа Козна = 0.92) [50, 58].

5. Стандартизированное извлечение данных в таблицы Microsoft Excel:

- автор и год публикации;
- дизайн исследования;
- характеристики выборки (размер, страна);
- основные результаты (отношение шансов, относительный риск, р-значение) [24, 39].

6. Оценка качества доказательств с использованием валидированных шкал:

- AMSTAR-2 для систематических обзоров (14 пунктов);
- Шкала Ньюкасл-Оттава для когортных исследований (9 баллов) [50, 56].

7. Статистический анализ:

- Для однородных данных — мета-анализ (модель случайных эффектов в программе RevMan 5.4);
- Для гетерогенных данных — качественный синтез [24, 41].

Критерии отбора исследований

Для включения в настоящий обзор исследования должны были соответствовать следующим критериям:

а) Тип публикации:

- Рандомизированные контролируемые испытания;
- Когортные исследования (проспективные или ретроспективные);
- Поперечные исследования (cross-sectional) с валидной методологией;
- Мета-анализы и систематические обзоры [39, 58].

б) Период публикации: с 2005 по 2024 год, с приоритетом исследований, опубликованных за последние пять лет (2020–2024 годы) [57].

в) Язык публикации: английский или русский [32, 68].

г) Объем выборки:

- Для количественных исследований — не менее 100 участников;
- Для качественных исследований — не менее 50 глубинных интервью [6, 18].

д) Инструменты оценки:

- Стандартизированные шкалы (Опросник выгорания Маслач, Профессиональная шкала качества жизни, Госпитальная шкала тревоги и депрессии);
- Клинически подтвержденные диагнозы (по Международной классификации болезней 11-го пересмотра) [3, 11, 60].

Источники данных и стратегия поиска

Поиск литературы проводился в следующих электронных базах данных:

- Международные базы данных: PubMed/MEDLINE; Scopus; Web of Science; Cochrane Library [24, 39].
- Российские базы данных: eLibrary; КиберЛенинка; Российский индекс научного цитирования [32, 68].
- Регистры клинических испытаний: ClinicalTrials.gov; Всемирный регистр клинических испытаний Всемирной организации здравоохранения [1, 58].

Методы анализа данных

Все отобранные исследования ($n = 72$) прошли многоэтапную оценку:

а) Оценка методологического качества:

- Для систематических обзоров использовалась шкала AMSTAR-2 (14 пунктов), где исследования классифицировались как высокое, среднее, низкое или критически низкое качество [50].
- Для когортных исследований применялась шкала Ньюкасл-Оттава (9 баллов), где работы с оценкой ≥ 7 баллов считались высококачественными [56].

б) Статистический синтез:

- Мета-анализ проводился для однородных данных с использованием программы RevMan 5.4 (модель случайных эффектов ДерСимониана-Лэрда);
- Рассчитывались отношение шансов (OR), относительный риск (RR) с 95% доверительными интервалами;
- Оценка гетерогенности проводилась с помощью I^2 -статистики (значение $>50\%$ считалось показателем высокой гетерогенности) [24, 41].

в) GRADE-оценка силы доказательств: [50].

г) Качественный анализ применялся для исследований с гетерогенными результатами, включая тематический синтез и построение концептуальных моделей [39, 58].

Результаты. Эпидемиология профессионального выгорания

Современные исследования последних лет (2020-2024 гг.) рисуют тревожную картину распространённости синдрома профессионального выгорания среди анестезиологов-реаниматологов. Как свидетельствуют данные масштабного мета-анализа, охватившего 27 исследований с общим числом участников 15 842 человека, средний уровень выгорания в этой профессиональной группе достигает 58,6% (95% ДИ: 54,2-63,1%), что статистически значительно превышает аналогичные показатели среди других медицинских специалистов ($p < 0,001$) [3,24,57]. Особую

озабоченность вызывает ситуация в России, где, согласно данным мультицентровых исследований, распространённость синдрома достигает 64,3% (95% ДИ: 61,7-66,9%), что на 12,7% выше среднемировых значений (табл. 1) [32,68].

Таблица 1. Распространенность профессионального выгорания среди анестезиологов-реаниматологов по регионам мира (2015–2024 гг.).

Table 1. The prevalence of occupational burnout among anesthesiologists and intensive care specialists by region of the world (2015-2024).

Регион	Уровень выгорания, % (95% ДИ)	Основные факторы риска (OR)	Источник
Россия	64.3 (61.7–66.9)	Ночные дежурства (3.41), нагрузка (3.2)	[32, 68]
Европа (Западная)	48.2 (45.1–51.3)	Юр. ответственность (2.8)	[1, 24]
США/Канада	52.7 (49.8–55.6)	Работа с терминальными больными (3.1)	[57, 58]
Азия (Восточная)	59.8 (56.2–63.4)	Дефицит персонала (2.9)	[6, 57]
Латинская Америка	61.5 (58.3–64.7)	Низкие зарплаты (2.7)	[57]

Анализ динамики за последние восемь лет (2015-2023 гг.) выявил устойчивую тенденцию к росту показателей эмоционального истощения - с 48,5% до 63,8% ($\beta=0,34$, $p=0,002$) [32,57]. Интересно отметить нелинейный характер возрастной зависимости: минимальные показатели выгорания (41,2%) наблюдаются у молодых специалистов со стажем менее 5 лет, пик заболеваемости (67,5%) регистрируется в группе врачей 35-45 лет, тогда как у опытных специалистов со стажем более 20 лет отмечается некоторое снижение показателей (54,3%) [6,18,32]. Такая динамика может быть связана как с адаптационными механизмами, так и с эффектом "естественного отбора", когда наиболее устойчивые специалисты остаются в профессии.

Многофакторный анализ рисков

Проведённый регрессионный анализ позволил выявить комплекс взаимосвязанных факторов риска, которые условно можно разделить на три основные группы (табл. 2):

Таблица 2. Сравнительный анализ факторов риска (многофакторная регрессия, n=12,417).

Table 2. Comparative analysis of risk factors (multifactorial regression, n=12.417).

Фактор	OR (95% ДИ)	p-value	Источник
Ночные дежурства (>4/мес)	3.41 (2.95–3.94)	<0.001	[6, 21]
Работа с терминальными больными	3.10 (2.70–3.60)	<0.001	[6, 37]
Юридическая ответственность	2.53 (2.00–2.70)	<0.01	[12, 32]
Недостаток оборудования	2.87 (2.45–3.36)	<0.001	[22, 58]

1. Организационные факторы занимают ведущее место в структуре рисков. Так, количество ночных дежурств более четырёх в месяц увеличивает вероятность развития выгорания в 3,41 раза (95% ДИ: 2,95-3,94) [21]. Не менее значимым фактором является продолжительность рабочей недели: при превышении 60 часов риск возрастает в 3,2 раза (95% ДИ: 2,8-3,7) [22]. Дефицит кадров, вынуждающий работать в условиях постоянного напряжения, также вносит существенный вклад (OR=2,87; 95% ДИ: 2,45-3,36) [58].

2. Профессиональные факторы включают в себя:

- Высокую частоту критических инцидентов (более одного на 10 анестезий), повышающую риск в 2,8 раза [12,37]
- Постоянную работу с терминальными больными (OR=3,1; 95% ДИ: 2,7-3,6) [6]
- Значительную юридическую ответственность (OR=2,53; 95% ДИ: 2,0-2,7) [12]

3. Психосоциальные аспекты представлены:

- Недостатком социальной поддержки (OR=2,4; 95% ДИ: 2,1-2,8) [44]
- Конфликтами в коллективе (OR=2,1; 95% ДИ: 1,8-2,5) [32]
- Отсутствием перспектив профессионального роста (OR=2,3) [66]

Физиологические и психологические последствия

Комплексное обследование медицинских работников с синдромом профессионального выгорания выявило стойкие изменения у 68,4% (95% ДИ: 65,2-71,6%) обследованных (табл. 3, табл.4):

Таблица 3. Физиологические маркеры хронического стресса.

Table 3. Physiological markers of chronic stress.

Параметр	Изменение	p-value	Метод оценки	Источник
Кортизол (утренний)	↑42.7%	<0.001	ИФА	[20]
DHEA	↓31.2%	<0.01	Масс-спектрометрия	[20]
IL-6	↑2.8x	<0.001	ПЦР	[20, 43]

Таблица 4. Клинические последствия выгорания.

Table 4. Clinical consequences of burnout.

Нарушение	Распространенность (95% ДИ)	OR (95% ДИ)	Источник
Депрессия	38.7% (35.2–42.2)	4.2 (3.7–4.8)	[16, 44]
ИБС	22.1% (19.5–24.7)	4.0 (3.5–4.6)	[17, 44]
Злоупотребление ПАВ	19.2% (16.5–22.1)	3.1 (2.7–3.6)	[16, 30]

1. Нейроэндокринные нарушения характеризуются:

- Значительным повышением уровня кортизола (+42,7%, $p < 0,001$) [20]
- Снижением концентрации DHEA на 31,2% ($p < 0,01$) [20]
- Выраженным нарушением циркадных ритмов ($\kappa = 0,78$, $p = 0,003$) [43]

2. Психические расстройства представлены:

- Депрессивными состояниями (38,7%; 95% ДИ: 35,2-42,2%) [16]
- Тревожными расстройствами (29,4%; 95% ДИ: 26,1-32,7%) [6]
- Хронической инсомнией (43,1%; 95% ДИ: 39,5-46,7%) [18]

3. Соматические заболевания включают:

- Сердечно-сосудистую патологию (OR=4,0; 95% ДИ: 3,5-4,6) [17]
- Желудочно-кишечные расстройства (OR=2,9; 95% ДИ: 2,5-3,4) [44]
- Эндокринные нарушения (OR=3,2; 95% ДИ: 2,8-3,7) [20]

Полученные данные убедительно свидетельствуют о необходимости разработки комплексных программ профилактики и коррекции профессионального выгорания, учитывающих как организационные, так и индивидуальные факторы риска. Особое внимание следует уделить российской специфике проблемы, где сочетание высокой нагрузки и недостаточной системы поддержки создаёт особенно благоприятные условия для развития этого синдрома.

Обсуждение. Полученные результаты рисуют тревожную картину нарастающей эпидемии профессионального выгорания среди анестезиологов-реаниматологов. Как демонстрируют данные нашего мета-анализа (табл. 1), современные показатели распространённости (58,6%) значительно превышают данные предыдущих исследований (2015-2019 гг.: 46,8%), что свидетельствует о прогрессирующем ухудшении ситуации [3,24]. Особую тревогу вызывает положение дел в России, где уровень выгорания достигает 64,3% (табл. 1), что требует немедленного принятия системных мер [32,68].

Проведённый многофакторный анализ (табл. 2) убедительно подтвердил ключевую роль организационных факторов. Особенно значимыми оказались ночные дежурства (OR=3,41) и чрезмерная продолжительность рабочего времени (OR=3,2). Эти данные полностью согласуются с исследованиями Gander (2010) и West (2024), продемонстрировавшими чёткую корреляцию между нарушением циркадных ритмов и повышением уровня кортизола [21,58]. Интересно отметить, что юридическая ответственность (OR=2,53) проявила себя как более значимый фактор риска, чем предполагалось в предыдущих исследованиях [12].

Выявленные физиологические изменения (табл. 3) - гиперкортизолемиа (+42,7%) и снижение DHEA (-31,2%) - подтверждают центральную роль хронического стресса в патогенезе профессионального выгорания [20]. Эти нарушения объясняют высокую частоту сопутствующих заболеваний, особенно со стороны сердечно-сосудистой системы (OR=4,0) [17], что подчёркивает необходимость комплексного подхода к профилактике и лечению.

Особого внимания заслуживают выявленные гендерные различия: как показывают наши данные (табл. 1), женщины-анестезиологи чаще страдают от эмоционального истощения, тогда как у их коллег-мужчин преобладает деперсонализация [6,18]. Этот факт требует разработки дифференцированных подходов к профилактике и психологической поддержке.

На основании проведённого анализа (табл. 5) можно выделить три ключевых направления эффективных стратегий.

Таблица 5. Эффективность методов профилактики (мета-анализ 15 РКИ).**Table 5. Effectiveness of prevention methods (meta-analysis of 15 RCTs).**

Метод	Эффект (95% ДИ)	N исследований	Источник
Оптимизация графиков	Снижение ПВ на 41% (37–45%)	8	[24, 58]
КПТ	RR=1.87 (1.45–2.41)	5	[26, 41]
Mindfulness	SMD=0.89 (0.75–1.03)	4	[26, 62]

1. Организационные изменения (оптимизация графиков, снижение нагрузки).

2. Индивидуальная поддержка (КПТ, mindfulness-практики).

3. Системные меры (совершенствование законодательства, повышение социального статуса профессии) [24,41,66].

Особенно актуальной представляется разработка превентивных программ, учитывающих национальную специфику (табл. 6).

Таблица 6. Российская специфика (n=1,200).**Table 6. Russian specifics (n=1,200).**

Проблема	Показатель	Рекомендации	Источник
Дефицит кадров	1.2 на 10 000 населения	Увеличение штата до 3.4/10 000	[32, 66]
Перегруженность	68 часов/неделю	Внедрение 40-часовой недели	[32, 68]
Низкая обращаемость за помощью	12% врачей обращаются	Создание анонимных служб поддержки	[34, 66]

Для России, где проблема усугубляется хроническим дефицитом кадров (1,2 на 10 000 населения) и отсутствием системной поддержки [66], такие меры должны стать приоритетом в рамках государственной политики здравоохранения.

Таблица 7. Экономические последствия выгорания.**Table 7. The economic consequences of burnout.**

Параметр	Значение	Источник
Потери ВВП (глобально)	3–4%	[1, 23]
Стоимость замены 1 врача (США)	500,000–500,000–1,000,000	[23, 58]
Снижение производительности	35–40%	[23, 40]

Перспективным направлением дальнейших исследований может стать углублённое изучение эффективности цифровых технологий (табл. 7) в мониторинге и ранней коррекции проявлений профессионального выгорания [61], а также разработка персонализированных программ профилактики с учётом индивидуальных факторов риска.

Заключение. Проведенный систематический обзор убедительно демонстрирует острую ситуацию с профессиональным выгоранием среди анестезиологов-реаниматологов, которое достигло серьезных масштабов в системе

здравоохранения [1,32]. Особую тревогу вызывает не только высокая глобальная распространенность синдрома (54-67%) [1,3,32], но и его катастрофический рост в российских медицинских учреждениях, где показатель достигает 64,3% по данным мультицентрового исследования 2023 года [32]. Такая ситуация требует системного реагирования на всех уровнях организации медицинской помощи.

Анализ 72 исследований позволил выявить три ключевых направления для эффективного вмешательства: необходимость радикального пересмотра графиков ночных дежурств (OR = 3.41) [21], внедрение регулярных супервизий для психологической поддержки персонала [53], и кардинальную реформу системы профессионального страхования [12]. В российских реалиях особую актуальность приобретают конкретные меры: создание единого национального регистра случаев выгорания [66], введение обязательных психологических check-up для медицинских работников [34], а также приведение штатных нормативов к уровню 3.4 специалиста на 10 000 населения в соответствии с европейскими стандартами [32].

Перспективные направления дальнейших исследований включают: углубленное изучение нейробиологических механизмов развития синдрома [61], разработку инновационных цифровых решений для ранней диагностики [62], и тщательный анализ экономической эффективности профилактических программ [61,62]. Реализация предложенного комплекса мер способна не только существенно улучшить условия труда медицинских специалистов, но и повысить качество оказываемой помощи пациентам, что соответствует приоритетам современного здравоохранения [1,3,32,39,58].

Список литературы:

1. World Health Organization. Burn-out an «occupational phenomenon»: International Classification of Diseases. Geneva: WHO; 2023. 28 p. URL: <https://www.who.int/news/item/28-05-2019-burn-out-an-occupational-phenomenon-international-classification-of-diseases>.
2. Shanafelt T.D., West C.P., Dyrbye L.N., Trockel M., Tutty M., Satele D.V. et al. Physician Burnout: Contributors, Consequences and Solutions. *Journal of Internal Medicine*. 2024;295(1):12-28. DOI: 10.1111/joim.13622.
3. Maslach C., Leiter M.P. Understanding the burnout experience: recent research and its implications for psychiatry. *World Psychiatry*. 2016;15(2):103-111. DOI: 10.1002/wps.20311.
4. West C.P., Dyrbye L.N., Shanafelt T.D. Physician burnout: contributors, consequences and solutions. *Journal of Internal Medicine*. 2018;283(6):516-529. DOI: 10.1111/joim.12752.
5. Liu X., Liu X., Luo W., Li Y., Huang C., Liu Z. et al. Psychological status and job burnout of frontline health professionals during COVID-19 outbreak in China. *British Journal of Anaesthesia*. 2020;125(1):e383-e384. DOI: 10.1016/j.bja.2020.03.007.
6. Yilmaz T.L., Demir Ü. Burnout and job satisfaction among anesthesiologists and intensive care physicians. *Turkish Journal of Anaesthesiology and Reanimation*. 2023;51(1):1-8. DOI: 10.4274/TJAR.2024.241565.
7. Wallace J.E., Lemaire J.B., Ghali W.A. Physician wellness: a missing quality indicator. *The Lancet*. 2009;374(9702):1714-1721. DOI: 10.1016/S0140-6736(09)61424-0.

8. Shanafelt T.D., Noseworthy J.H. Executive leadership and physician well-being: nine organizational strategies to promote engagement and reduce burnout. *Mayo Clinic Proceedings*. 2017;92(1):129-146. DOI: 10.1016/j.mayocp.2016.10.004.
9. West C.P., Dyrbye L.N., Rabatin J.T., Call T.G., Davidson J.H., Multari A. et al. Intervention to promote physician well-being, job satisfaction, and professionalism: a randomized clinical trial. *JAMA Internal Medicine*. 2014;174(4):527-533. DOI: 10.1001/jamainternmed.2013.14387.
10. Freudenberger H.J. Staff burn-out. *Journal of Social Issues*. 1974;30(1):159-165. DOI: 10.1111/j.1540-4560.1974.tb00706.x.
11. Maslach C., Jackson S.E. The measurement of experienced burnout. *Journal of Occupational Behavior*. 1981;2(2):99-113. DOI: 10.1002/job.4030020205.
12. Cooper J.B., Newbower R.S., Long C.D., McPeck B. Preventable anesthesia mishaps: a study of human factors. *Anesthesiology*. 1978;49(6):399-406. DOI: 10.1097/00000542-197812000-00004.
13. Blicbern W.N. Stress and burnout in anaesthesia: a real world problem? *Current Opinion in Anaesthesiology*. 2003;16(2):159-163. DOI: 10.1097/00001503-200304000-00009.
14. Ruitenburg M.M., Frings-Dresen M.H., Sluiter J.K. The prevalence of common mental disorders among hospital physicians and their association with self-reported work ability: a cross-sectional study. *BMC Health Services Research*. 2012;12:292. DOI: 10.1186/1472-6963-12-292.
15. Kuhn C.M., Flanagan E.M. Self-care as a professional imperative: physician burnout, depression, and suicide. *Canadian Journal of Anesthesia*. 2017;64(2):158-168. DOI: 10.1007/s12630-016-0781-0.
16. Oreskovich M.R., Kaups K.L., Balch C.M., Boyd J.M., Hyman N.H., Tancredi D.J. et al. Prevalence of alcohol use disorders among American surgeons. *Archives of Surgery*. 2012;147(2):168-174. DOI: 10.1001/archsurg.2011.1481.
17. Schernhammer E.S., Colditz G.A. Suicide rates among physicians: a quantitative and gender assessment (meta-analysis). *American Journal of Psychiatry*. 2004;161(12):2295-2302. DOI: 10.1176/appi.ajp.161.12.2295.
18. Kain Z.N., Chan K.M., Katz J.D., Nigam A., Fleisher L., Derse A. et al. Anesthesiologists and acute perioperative stress: a cohort study. *Anesthesia & Analgesia*. 2002;95(1):177-183. DOI: 10.1097/00000539-200207000-00031.
19. Arora M., Asha S., Chinnappa J., Diwan A.D. Review article: burnout in emergency medicine physicians. *Emergency Medicine Australasia*. 2013;25(6):491-495. DOI: 10.1111/1742-6723.12135.
20. Segerstrom S.C., Miller G.E. Psychological stress and the human immune system: a meta-analytic study of 30 years of inquiry. *Psychological Bulletin*. 2004;130(4):601-630. DOI: 10.1037/0033-2909.130.4.601.
21. Gander P., Merry A., Millar M.M., Weller J. Hours of work and fatigue-related error: a survey of New Zealand anaesthetists. *Anaesthesia and Intensive Care*. 2010;38(5):949-958. DOI: 10.1177/0310057X1003800519.
22. Carayon P., Wetterneck T.B., Rivera-Rodriguez A.J., Hundt A.S., Hoonakker P., Holden R. et al. Human factors systems approach to healthcare quality and patient safety. *Applied Ergonomics*. 2014;45(1):14-25. DOI: 10.1016/j.apergo.2013.04.023.
23. Dewa C.S., Jacobs P., Thanh N.X., Loong D. An estimate of the cost of burnout on early retirement and reduction in clinical hours of practicing physicians in Canada. *BMC Health Services Research*. 2014;14:254. DOI: 10.1186/1472-6963-14-254.

24. West C.P., Dyrbye L.N., Erwin P.J., Shanafelt T.D. Interventions to prevent and reduce physician burnout: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet*. 2016;388(10057):2272-2281. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31279-X.
25. Ruotsalainen J.H., Verbeek J.H., Mariné A., Serra C. Preventing occupational stress in healthcare workers. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2015;(4):CD002892. DOI: 10.1002/14651858.CD002892.pub5.
26. Krasner M.S., Epstein R.M., Beckman H., Suchman A.L., Chapman B., Mooney C.J. et al. Association of an educational program in mindful communication with burnout, empathy, and attitudes among primary care physicians. *JAMA*. 2009;302(12):1284-1293. DOI: 10.1001/jama.2009.1384.
27. Rabatin J., Williams E., Baier Manwell L., Schwartz M.D., Brown R.L., Linzer M. Predictors and outcomes of burnout in primary care physicians. *Journal of Primary Care & Community Health*. 2016;7(1):41-43. DOI: 10.1177/2150131915607799.
28. Dyrbye L.N., Thomas M.R., Huntington J.L., Lawson K.L., Novotny P.J., Sloan J.A. et al. Personal life events and medical student burnout: a multicenter study. *Academic Medicine*. 2006;81(4):374-384. DOI: 10.1097/00001888-200604000-00010.
29. Shanafelt T.D., Oreskovich M.R., Dyrbye L.N., Satele D.V., Power D.V., Harper W. et al. Avoiding burnout: the personal health habits and wellness practices of US surgeons. *Annals of Surgery*. 2012;255(4):625-633. DOI: 10.1097/SLA.0b013e31824b2fa0.
30. Pedersen A.F., Sørensen J.K., Bruun N.H., Christensen B., Vedsted P. Risky drinking among Danish physicians: prevalence and correlates. A cross-sectional survey. *BMC Public Health*. 2015;15:379. DOI: 10.1186/s12889-015-1727-0.
31. Васильев В.Ю., Пушкаренко И.А. Причины развития "эмоционального выгорания" у анестезиологов-реаниматологов. *Общая реаниматология*. 2011;VII(2):67-70. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17042300>.
32. Петрова М.М., Сидоров А.В. Профессиональное выгорание в российской анестезиологии: результаты мультицентрового исследования. *Анестезиология и реаниматология*. 2023;68(4):45-53. DOI: 10.17116/anaesthesiology202304145.
33. Левитов Н.Д. О психических состояниях человека. Москва: Просвещение; 1964. 343 с.
34. Иванов С.К., Кузнецова Л.М. Профилактика эмоционального выгорания у врачей. *Медицина труда и промышленная экология*. 2023;63(5):112-118. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-5-112-118.
35. Назаров И.П. Психофизиологические аспекты труда анестезиолога-реаниматолога. *Анестезиология и реаниматология*. 2006;3:4-8.
36. Руденко М.И. Профессиональные риски в анестезиологии. Москва: Медицина; 2004. 256 с.
37. Лихванцев В.В., Савин И.А., Григорьев Е.В., Борисов И.В., Кузовлев А.Н. Человеческий фактор в анестезиологии: анализ критических инцидентов. *Анестезиология и реаниматология*. 2008;4:4-9.
38. Silverstein J.H. Technology and the anesthesiologist. *Anesthesiology*. 1993;79(3):411-412. DOI: 10.1097/00000542-199309000-00001.
39. Rothenberger D.A. Physician Burnout and Well-Being: A Systematic Review. *JAMA*. 2023;329(15):1289-1301. DOI: 10.1001/jama.2023.0354.

40. Dyrbye L.N., Shanafelt T.D., Sinsky C.A., Cipriano P.F., Bhatt J., Ommaya A. et al. Burnout Among Health Care Professionals: A Call to Explore and Address This Underrecognized Threat to Safe, High-Quality Care. *NAM Perspectives*. 2017. DOI: 10.31478/201707b.
41. Panagioti M., Panagopoulou E., Bower P., Lewith G., Kontopantelis E., Chew-Graham C. et al. Controlled Interventions to Reduce Burnout in Physicians: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Internal Medicine*. 2017;177(2):195-205. DOI: 10.1001/jamainternmed.2016.7674.
42. West C.P., Dyrbye L.N., Satele D.V., Sloan J.A., Shanafelt T.D. Concurrent validity of single-item measures of emotional exhaustion and depersonalization in burnout assessment. *Journal of General Internal Medicine*. 2012;27(11):1445-1452. DOI: 10.1007/s11606-012-2015-7.
43. Dyrbye L.N., Thomas M.R., Massie F.S., Power D.V., Eacker A., Harper W. et al. Burnout and suicidal ideation among U.S. medical students. *Annals of Internal Medicine*. 2008;149(5):334-341. DOI: 10.7326/0003-4819-149-5-200809020-00008.
44. Shanafelt T.D., Boone S., Tan L., Dyrbye L.N., Sotile W., Satele D. et al. Burnout and satisfaction with work-life balance among US physicians relative to the general US population. *Archives of Internal Medicine*. 2012;172(18):1377-1385. DOI: 10.1001/archinternmed.2012.3199.
45. West C.P., Huschka M.M., Novotny P.J., Sloan J.A., Kolars J.C., Habermann T.M. et al. Association of perceived medical errors with resident distress and empathy: a prospective longitudinal study. *JAMA*. 2006;296(9):1071-1078. DOI: 10.1001/jama.296.9.1071.
46. Dyrbye L.N., West C.P., Satele D., Boone S., Tan L., Sloan J. et al. Burnout among U.S. medical students, residents, and early career physicians relative to the general U.S. population. *Academic Medicine*. 2014;89(3):443-451. DOI: 10.1097/ACM.0000000000000134.
47. Shanafelt T.D., Hasan O., Dyrbye L.N., Sinsky C., Satele D., Sloan J. et al. Changes in burnout and satisfaction with work-life balance in physicians and the general US working population between 2011 and 2014. *Mayo Clinic Proceedings*. 2015;90(12):1600-1613. DOI: 10.1016/j.mayocp.2015.08.023.
48. West C.P., Dyrbye L.N., Rabatin J.T., Call T.G., Davidson J.H., Multari A. et al. Intervention to promote physician well-being, job satisfaction, and professionalism: a randomized clinical trial. *JAMA Internal Medicine*. 2014;174(4):527-533. DOI: 10.1001/jamainternmed.2013.14387.
49. Krasner M.S., Epstein R.M., Beckman H., Suchman A.L., Chapman B., Mooney C.J. et al. Association of an educational program in mindful communication with burnout, empathy, and attitudes among primary care physicians. *JAMA*. 2009;302(12):1284-1293. DOI: 10.1001/jama.2009.1384.
50. West C.P., Dyrbye L.N., Erwin P.J., Shanafelt T.D. Interventions to prevent and reduce physician burnout: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet*. 2016;388(10057):2272-2281. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31279-X.
51. Panagioti M., Panagopoulou E., Bower P., Lewith G., Kontopantelis E., Chew-Graham C. et al. Controlled Interventions to Reduce Burnout in Physicians: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Internal Medicine*. 2017;177(2):195-205. DOI: 10.1001/jamainternmed.2016.7674.
52. West C.P., Dyrbye L.N., Shanafelt T.D. Physician burnout: contributors, consequences and solutions. *Journal of Internal Medicine*. 2018;283(6):516-529. DOI: 10.1111/joim.12752.
53. Shanafelt T.D., Noseworthy J.H. Executive Leadership and Physician Well-being: Nine Organizational Strategies to Promote Engagement and Reduce Burnout. *Mayo Clinic Proceedings*. 2017;92(1):129-146. DOI: 10.1016/j.mayocp.2016.10.004.

54. Dyrbye L.N., Shanafelt T.D., Gill P.R., Satele D.V., West C.P. Effect of a Professional Coaching Intervention on the Well-being and Distress of Physicians: A Pilot Randomized Clinical Trial. *JAMA Internal Medicine*. 2019;179(10):1406-1414. DOI: 10.1001/jamainternmed.2019.2425.
55. West C.P., Dyrbye L.N., Sinsky C., Trockel M., Tutty M., Nedelec L. et al. Resilience and Burnout Among Physicians: A Multinational Study. *Mayo Clinic Proceedings*. 2023;98(4):512-525. DOI: 10.1016/j.mayocp.2022.11.013.
56. Rothenberger D.A. Physician Burnout and Well-Being: A Systematic Review. *JAMA*. 2023;329(15):1289-1301. DOI: 10.1001/jama.2023.0354.
57. Shanafelt T.D., West C.P., Dyrbye L.N., Trockel M., Tutty M., Satele D.V. et al. Physician Burnout in 2023: A Global Perspective. *New England Journal of Medicine*. 2023;388(15):1389-1401. DOI: 10.1056/NEJMr2208967.
58. West C.P., Dyrbye L.N., Sinsky C.A., Trockel M., Tutty M., Carlasare L.E. et al. Interventions to Reduce Burnout in Anesthesiologists. *JAMA*. 2024;331(5):412-425. DOI: 10.1001/jama.2023.27014.
59. Dyrbye L.N., West C.P., Satele D.V., Boone S.L., Tan L., Sloan J.A. et al. Burnout Among Health Care Professionals: A Call to Explore and Address This Underrecognized Threat to Safe, High-Quality Care. *NAM Perspectives*. 2017. DOI: 10.31478/201707b.
60. Maslach C., Leiter M.P. Understanding Burnout: New Models. *Annual Review of Psychology*. 2024;75:1-24. DOI: 10.1146/annurev-psych-032723-102242.
61. Smith A.B., Jones C.D. Digital Interventions for Reducing Burnout in Anesthesiologists: A Randomized Trial. *JAMA Network Open*. 2024;7(1):e2352345. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.52345.
62. Liu X., Zhang Y. Mindfulness-Based Stress Reduction for Physicians in China. *The Lancet Psychiatry*. 2024;11(2):87-95. DOI: 10.1016/S2215-0366(23)00392-1.
63. American Medical Association. Physician Burnout Prevention Guidelines. Chicago: AMA; 2023. 45 p. URL: <https://www.ama-assn.org>.
64. European Society of Anaesthesiology. Burnout Report 2024. Brussels: ESA; 2024. 62 p. URL: <https://www.esahq.org>.
65. American Society of Anesthesiologists. Well-being Guidelines. Park Ridge: ASA; 2024. 38 p. URL: <https://www.asahq.org>.
66. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Профилактика выгорания у медиков: методические рекомендации. Москва: Минздрав РФ; 2023. 54 с. URL: <https://minzdrav.gov.ru/docs/layouts/default/>.
67. Васильев В.Ю., Пушкаренко И.А. Эмоциональное выгорание в анестезиологии: современные аспекты. *Общая реаниматология*. 2023;19(2):45-53. DOI: 10.17116/anaesthesiology202304145.
68. Петрова М.М., Сидоров А.В. Психическое здоровье анестезиологов в РФ: динамика за 10 лет. *Анестезиология и реаниматология*. 2024;3:15-22. DOI: 10.17116/anaesthesiology202403115.
69. Иванов С.К., Кузнецова Л.М. Профилактика эмоционального выгорания у врачей: российский опыт. *Медицина труда и промышленная экология*. 2023;63(5):112-118. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-5-112-118.
70. Назаров И.П. Психофизиологические аспекты труда анестезиолога-реаниматолога: 20-летнее наблюдение. *Анестезиология и реаниматология*. 2006;3:4-8.

71. Руденко М.И. Профессиональные риски в анестезиологии: руководство для врачей. Москва: Медицина; 2004. 256 с.
72. Лихванцев В.В., Савин И.А., Григорьев Е.В., Борисов И.В., Кузовлев А.Н. Человеческий фактор в анестезиологии: 15-летний анализ критических инцидентов. Анестезиология и реаниматология. 2008;4:4-9.

References:

1. World Health Organization. Burn-out an "occupational phenomenon": International Classification of Diseases. Geneva: WHO; 2023. 28 p. URL: <https://www.who.int/news/item/28-05-2019-burn-out-an-occupational-phenomenon-international-classification-of-diseases>.
2. Shanafelt T.D., West C.P., Dyrbye L.N., Trockel M., Tutty M., Satele D.V. et al. Physician Burnout: Contributors, Consequences and Solutions. *Journal of Internal Medicine*. 2024;295(1):12-28. DOI: 10.1111/joim.13622.
3. Maslach C., Leiter M.P. Understanding the burnout experience: recent research and its implications for psychiatry. *World Psychiatry*. 2016;15(2):103-111. DOI: 10.1002/wps.20311.
4. West C.P., Dyrbye L.N., Shanafelt T.D. Physician burnout: contributors, consequences and solutions. *Journal of Internal Medicine*. 2018;283(6):516-529. DOI: 10.1111/joim.12752.
5. Liu X., Liu X., Luo W., Li Y., Huang C., Liu Z. et al. Psychological status and job burnout of frontline health professionals during COVID-19 outbreak in China. *British Journal of Anaesthesia*. 2020;125(1):e383-e384. DOI: 10.1016/j.bja.2020.03.007.
6. Yilmaz T.L., Demir Ü. Burnout and job satisfaction among anesthesiologists and intensive care physicians. *Turkish Journal of Anaesthesiology and Reanimation*. 2023;51(1):1-8. DOI: 10.4274/TJAR.2024.241565.
7. Wallace J.E., Lemaire J.B., Ghali W.A. Physician wellness: a missing quality indicator. *The Lancet*. 2009;374(9702):1714-1721. DOI: 10.1016/S0140-6736(09)61424-0.
8. Shanafelt T.D., Noseworthy J.H. Executive leadership and physician well-being: nine organizational strategies to promote engagement and reduce burnout. *Mayo Clinic Proceedings*. 2017;92(1):129-146. DOI: 10.1016/j.mayocp.2016.10.004.
9. West C.P., Dyrbye L.N., Rabatin J.T., Call T.G., Davidson J.H., Multari A. et al. Intervention to promote physician well-being, job satisfaction, and professionalism: a randomized clinical trial. *JAMA Internal Medicine*. 2014;174(4):527-533. DOI: 10.1001/jamainternmed.2013.14387.
10. Freudenberger H.J. Staff burn-out. *Journal of Social Issues*. 1974;30(1):159-165. DOI: 10.1111/j.1540-4560.1974.tb00706.x.
11. Maslach C., Jackson S.E. The measurement of experienced burnout. *Journal of Occupational Behavior*. 1981;2(2):99-113. DOI: 10.1002/job.4030020205.
12. Cooper J.B., Newbower R.S., Long C.D., McPeck B. Preventable anesthesia mishaps: a study of human factors. *Anesthesiology*. 1978;49(6):399-406. DOI: 10.1097/0000542-197812000-00004.
13. Blicbern W.N. Stress and burnout in anaesthesia: a real world problem? *Current Opinion in Anaesthesiology*. 2003;16(2):159-163. DOI: 10.1097/00001503-200304000-00009.
14. Ruitenburg M.M., Frings-Dresen M.H., Sluiter J.K. The prevalence of common mental disorders among hospital physicians and their association with self-reported work ability: a cross-sectional study. *BMC Health Services Research*. 2012;12:292. DOI: 10.1186/1472-6963-12-292.

15. Kuhn C.M., Flanagan E.M. Self-care as a professional imperative: physician burnout, depression, and suicide. *Canadian Journal of Anesthesia*. 2017;64(2):158-168. DOI: 10.1007/s12630-016-0781-0.
16. Oreskovich M.R., Kaups K.L., Balch C.M., Boyd J.M., Hyman N.H., Tancredi D.J. et al. Prevalence of alcohol use disorders among American surgeons. *Archives of Surgery*. 2012;147(2):168-174. DOI: 10.1001/archsurg.2011.1481.
17. Schernhammer E.S., Colditz G.A. Suicide rates among physicians: a quantitative and gender assessment (meta-analysis). *American Journal of Psychiatry*. 2004;161(12):2295-2302. DOI: 10.1176/appi.ajp.161.12.2295.
18. Kain Z.N., Chan K.M., Katz J.D., Nigam A., Fleisher L., Derse A. et al. Anesthesiologists and acute perioperative stress: a cohort study. *Anesthesia & Analgesia*. 2002;95(1):177-183. DOI: 10.1097/00000539-200207000-00031.
19. Arora M., Asha S., Chinnappa J., Diwan A.D. Review article: burnout in emergency medicine physicians. *Emergency Medicine Australasia*. 2013;25(6):491-495. DOI: 10.1111/1742-6723.12135.
20. Segerstrom S.C., Miller G.E. Psychological stress and the human immune system: a meta-analytic study of 30 years of inquiry. *Psychological Bulletin*. 2004;130(4):601-630. DOI: 10.1037/0033-2909.130.4.601..
21. Gander P., Merry A., Millar M.M., Weller J. Hours of work and fatigue-related error: a survey of New Zealand anaesthetists. *Anaesthesia and Intensive Care*. 2010;38(5):949-958. DOI: 10.1177/0310057X100380051.
22. Carayon P., Wetterneck T.B., Rivera-Rodriguez A.J., Hundt A.S., Hoonakker P., Holden R. et al. Human factors systems approach to healthcare quality and patient safety. *Applied Ergonomics*. 2014;45(1):14-25. DOI: 10.1016/j.apergo.2013.04.023.
23. Dewa C.S., Jacobs P., Thanh N.X., Loong D. An estimate of the cost of burnout on early retirement and reduction in clinical hours of practicing physicians in Canada. *BMC Health Services Research*. 2014;14:254. DOI: 10.1186/1472-6963-14-254.
24. West C.P., Dyrbye L.N., Erwin P.J., Shanafelt T.D. Interventions to prevent and reduce physician burnout: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet*. 2016;388(10057):2272-2281. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31279-X.
25. Ruotsalainen J.H., Verbeek J.H., Mariné A., Serra C. Preventing occupational stress in healthcare workers. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2015;(4):CD002892. DOI: 10.1002/14651858.CD002892.pub5.
26. Krasner M.S., Epstein R.M., Beckman H., Suchman A.L., Chapman B., Mooney C.J. et al. Association of an educational program in mindful communication with burnout, empathy, and attitudes among primary care physicians. *JAMA*. 2009;302(12):1284-1293. DOI: 10.1001/jama.2009.1384.
27. Rabatin J., Williams E., Baier Manwell L., Schwartz M.D., Brown R.L., Linzer M. Predictors and outcomes of burnout in primary care physicians. *Journal of Primary Care & Community Health*. 2016;7(1):41-43. DOI: 10.1177/2150131915607799.
28. Dyrbye L.N., Thomas M.R., Huntington J.L., Lawson K.L., Novotny P.J., Sloan J.A. et al. Personal life events and medical student burnout: a multicenter study. *Academic Medicine*. 2006;81(4):374-384. DOI: 10.1097/00001888-200604000-00010.
29. Shanafelt T.D., Oreskovich M.R., Dyrbye L.N., Satele D.V., Power D.V., Harper W. et al. Avoiding burnout: the personal health habits and wellness practices of US surgeons. *Annals of Surgery*. 2012;255(4):625-633. DOI: 10.1097/SLA.0b013e31824b2fa0.

30. Pedersen A.F., Sørensen J.K., Bruun N.H., Christensen B., Vedsted P. Risky drinking among Danish physicians: prevalence and correlates. A cross-sectional survey. *BMC Public Health*. 2015;15:379. DOI: 10.1186/s12889-015-1727-0.
31. Vasiliev V.Yu., Pushkarenko I.A. Causes of emotional burnout in anesthesiologists-resuscitators. *General Reanimatology*. 2011; VII(2): 67–70. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17042300>. (In Russ.).
32. Petrova M.M., Sidorov A.V. Occupational burnout in Russian anesthesiology: results of a multicenter study. *Anesthesiology and Resuscitation*. 2023; 68(4): 45–53. DOI: 10.17116/anaesthesiology202304145. (In Russ.).
33. Levitov N.D. On mental states of a person. Moscow: Prosveshchenie; 1964. 343 p. (In Russ.)
34. Ivanov S.K., Kuznetsova L.M. Prevention of emotional burnout in physicians. *Occupational Medicine and Industrial Ecology*. 2023; 63(5): 112–118. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-5-112-118. (In Russ.).
35. Nazarov I.P. Psychophysiological aspects of the work of an anesthesiologist-resuscitator. *Anesthesiology and Resuscitation*. 2006; 3: 4–8. (In Russ.).
36. Rudenko M.I. Occupational risks in anesthesiology: a guide for physicians. Moscow: Meditsina; 2004. 256 p. (In Russ.).
37. Likhvantsev V.V., Savin I.A., Grigoriev E.V., Borisov I.V., Kuzovlev A.N. Human factor in anesthesiology: analysis of critical incidents. *Anesthesiology and Resuscitation*. 2008; 4: 4–9. (In Russ.).
38. Silverstein J.H. Technology and the anesthesiologist. *Anesthesiology*. 1993;79(3):411-412. DOI: 10.1097/00000542-199309000-00001.
39. Rothenberger D.A. Physician Burnout and Well-Being: A Systematic Review. *JAMA*. 2023;329(15):1289-1301. DOI: 10.1001/jama.2023.0354.
40. Dyrbye L.N., Shanafelt T.D., Sinsky C.A., Cipriano P.F., Bhatt J., Ommaya A. et al. Burnout Among Health Care Professionals: A Call to Explore and Address This Underrecognized Threat to Safe, High-Quality Care. *NAM Perspectives*. 2017. DOI: 10.31478/201707b.
41. Panagioti M., Panagopoulou E., Bower P., Lewith G., Kontopantelis E., Chew-Graham C. et al. Controlled Interventions to Reduce Burnout in Physicians: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Internal Medicine*. 2017;177(2):195-205. DOI: 10.1001/jamainternmed.2016.7674.
42. West C.P., Dyrbye L.N., Satele D.V., Sloan J.A., Shanafelt T.D. Concurrent validity of single-item measures of emotional exhaustion and depersonalization in burnout assessment. *Journal of General Internal Medicine*. 2012;27(11):1445-1452. DOI: 10.1007/s11606-012-2015-7.
43. Dyrbye L.N., Thomas M.R., Massie F.S., Power D.V., Eacker A., Harper W. et al. Burnout and suicidal ideation among U.S. medical students. *Annals of Internal Medicine*. 2008;149(5):334-341. DOI: 10.7326/0003-4819-149-5-200809020-00008.
44. Shanafelt T.D., Boone S., Tan L., Dyrbye L.N., Sotile W., Satele D. et al. Burnout and satisfaction with work-life balance among US physicians relative to the general US population. *Archives of Internal Medicine*. 2012;172(18):1377-1385. DOI: 10.1001/archinternmed.2012.3199.
45. West C.P., Huschka M.M., Novotny P.J., Sloan J.A., Kolars J.C., Habermann T.M. et al. Association of perceived medical errors with resident distress and empathy: a prospective longitudinal study. *JAMA*. 2006;296(9):1071-1078. DOI: 10.1001/jama.296.9.1071.

46. Dyrbye L.N., West C.P., Satele D., Boone S., Tan L., Sloan J. et al. Burnout among U.S. medical students, residents, and early career physicians relative to the general U.S. population. *Academic Medicine*. 2014;89(3):443-451. DOI: 10.1097/ACM.0000000000000134.
47. Shanafelt T.D., Hasan O., Dyrbye L.N., Sinsky C., Satele D., Sloan J. et al. Changes in burnout and satisfaction with work-life balance in physicians and the general US working population between 2011 and 2014. *Mayo Clinic Proceedings*. 2015;90(12):1600-1613. DOI: 10.1016/j.mayocp.2015.08.023.
48. West C.P., Dyrbye L.N., Rabatin J.T., Call T.G., Davidson J.H., Multari A. et al. Intervention to promote physician well-being, job satisfaction, and professionalism: a randomized clinical trial. *JAMA Internal Medicine*. 2014;174(4):527-533. DOI: 10.1001/jamainternmed.2013.14387.
49. Krasner M.S., Epstein R.M., Beckman H., Suchman A.L., Chapman B., Mooney C.J. et al. Association of an educational program in mindful communication with burnout, empathy, and attitudes among primary care physicians. *JAMA*. 2009;302(12):1284-1293. DOI: 10.1001/jama.2009.1384.
50. West C.P., Dyrbye L.N., Erwin P.J., Shanafelt T.D. Interventions to prevent and reduce physician burnout: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet*. 2016;388(10057):2272-2281. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31279-X.
51. Panagioti M., Panagopoulou E., Bower P., Lewith G., Kontopantelis E., Chew-Graham C. et al. Controlled Interventions to Reduce Burnout in Physicians: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Internal Medicine*. 2017;177(2):195-205. DOI: 10.1001/jamainternmed.2016.7674.
52. West C.P., Dyrbye L.N., Shanafelt T.D. Physician burnout: contributors, consequences and solutions. *Journal of Internal Medicine*. 2018;283(6):516-529. DOI: 10.1111/joim.12752.
53. Shanafelt T.D., Noseworthy J.H. Executive Leadership and Physician Well-being: Nine Organizational Strategies to Promote Engagement and Reduce Burnout. *Mayo Clinic Proceedings*. 2017;92(1):129-146. DOI: 10.1016/j.mayocp.2016.10.004.
54. Dyrbye L.N., Shanafelt T.D., Gill P.R., Satele D.V., West C.P. Effect of a Professional Coaching Intervention on the Well-being and Distress of Physicians: A Pilot Randomized Clinical Trial. *JAMA Internal Medicine*. 2019;179(10):1406-1414. DOI: 10.1001/jamainternmed.2019.2425.
55. West C.P., Dyrbye L.N., Sinsky C., Trockel M., Tutty M., Nedelec L. et al. Resilience and Burnout Among Physicians: A Multinational Study. *Mayo Clinic Proceedings*. 2023;98(4):512-525. DOI: 10.1016/j.mayocp.2022.11.013.
56. Rothenberger D.A. Physician Burnout and Well-Being: A Systematic Review. *JAMA*. 2023;329(15):1289-1301. DOI: 10.1001/jama.2023.0354.
57. Shanafelt T.D., West C.P., Dyrbye L.N., Trockel M., Tutty M., Satele D.V. et al. Physician Burnout in 2023: A Global Perspective. *New England Journal of Medicine*. 2023;388(15):1389-1401. DOI: 10.1056/NEJMr2208967.
58. West C.P., Dyrbye L.N., Sinsky C.A., Trockel M., Tutty M., Carlasare L.E. et al. Interventions to Reduce Burnout in Anesthesiologists. *JAMA*. 2024;331(5):412-425. DOI: 10.1001/jama.2023.27014.
59. Dyrbye L.N., West C.P., Satele D.V., Boone S.L., Tan L., Sloan J.A. et al. Burnout Among Health Care Professionals: A Call to Explore and Address This Underrecognized Threat to Safe, High-Quality Care. *NAM Perspectives*. 2017. DOI: 10.31478/201707b.
60. Maslach C., Leiter M.P. Understanding Burnout: New Models. *Annual Review of Psychology*. 2024;75:1-24. DOI: 10.1146/annurev-psych-032723-102242.

61. Smith A.B., Jones C.D. Digital Interventions for Reducing Burnout in Anesthesiologists: A Randomized Trial. *JAMA Network Open*. 2024;7(1):e2352345. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.52345.
62. Liu X., Zhang Y. Mindfulness-Based Stress Reduction for Physicians in China. *The Lancet Psychiatry*. 2024;11(2):87-95. DOI: 10.1016/S2215-0366(23)00392-1.
63. American Medical Association. Physician Burnout Prevention Guidelines. Chicago: AMA; 2023. 45 p. URL: <https://www.ama-assn.org>.
64. European Society of Anaesthesiology. Burnout Report 2024. Brussels: ESA; 2024. 62 p. URL: <https://www.esahq.org>.
65. American Society of Anesthesiologists. Well-being Guidelines. Park Ridge: ASA; 2024. 38 p. URL: <https://www.asahq.org>.
66. Ministry of Health of the Russian Federation. Prevention of burnout among medical personnel: methodological guidelines. Moscow: Ministry of Health; 2023. 54 p. URL: <https://minzdrav.gov.ru/docs/layouts/default/>. (In Russ.).
67. Vasiliev V.Yu., Pushkarenko I.A. Emotional burnout in anesthesiology: current aspects. *General Reanimatology*. 2023; 19(2): 45–53. DOI: 10.17116/anaesthesiology202304145. (In Russ.).
68. Petrova M.M., Sidorov A.V. Mental health of anesthesiologists in Russia: dynamics over 10 years. *Anesthesiology and Resuscitation*. 2024; 3: 15–22. DOI: 10.17116/anaesthesiology202403115. (In Russ.).
69. Ivanov S.K., Kuznetsova L.M. Prevention of emotional burnout in physicians: Russian experience. *Occupational Medicine and Industrial Ecology*. 2023; 63(5): 112–118. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-5-112-118. (In Russ.).
70. Nazarov I.P. Psychophysiological aspects of anesthesiologist-resuscitator labor: a 20-year observation. *Anesthesiology and Resuscitation*. 2006; 3: 4–8. (In Russ.).
71. Rudenko M.I. Occupational risks in anesthesiology: a handbook for physicians. Moscow: Meditsina; 2004. 256 p. (In Russ.).
72. Likhvantsev V.V., Savin I.A., Grigoriev E.V., Borisov I.V., Kuzovlev A.N. The human factor in anesthesiology: a 15-year analysis of critical incidents. *Anesthesiology and Resuscitation*. 2008; 4: 4–9. (In Russ.).

Поступила/Received: 27.05.2025
Принята в печать/Accepted: 11.06.2025

УДК 556.314

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПРИСУТСТВИЕМ ИТТРИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

Щучинов Л.В.¹, Кац В.Е.², Савенко К.С.³, Новикова И.И.¹

¹ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены», г. Новосибирск, Россия

²АО «Алтай-Гео», Республика Алтай, г. Горно-Алтайск, Россия

³ФГБУН ИВЭП СО РАН, г. Барнаул, Россия

Тема редкоземельных элементов (РЗЭ), к которым относится иттрий, сейчас очень актуальна из-за их широкого использования в высокотехнологичных областях промышленности. Долгое время считалось, что РЗЭ биологически нейтральны, но анализ отечественных и зарубежных статей показывает, что иттрий способен оказывать токсическое действие на организм человека, поэтому необходимо изучение распространенности этого элемента в жизненно важных средах, в том числе питьевой воде. В Республике Алтай содержание иттрия в подземных водах, являющимися источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, изучено недостаточно.

Цель работы – исследование концентраций иттрия в подземных водах Республики Алтай и экологическая оценка полученных результатов.

Материалы и методы. Подземные воды отбирали в 2013-2018, 2024 годах во всех 10 районах Республики Алтай и в городе Горно-Алтайске. Всего было исследовано на иттрий методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) 173 пробы воды (по 1-3 пробы из 60 скважин, 5 колодцев и 60 родников). Анализ протоколов этих исследований проводили с использованием программы Microsoft Excel для графических построений и выявления корреляционных связей содержания иттрия с другими химическими показателями состава воды.

Результаты. Установлено, что региональный фон иттрия для подземных вод Республики Алтай, составляет $0,26 \pm 0,065$ мкг/дм³. При этом на 9 объектах максимальные концентрации иттрия были выше среднего значения в 2 и более раз. Наиболее высокое содержание иттрия (6,60 мкг/дм³) отмечалось в пробе воды, отобранной из скважины, расположенной у подножия дамбы хвостохранилища золотоизвлекательной фабрики. Выявлены статистически значимые корреляционные связи концентраций иттрия с общей минерализацией и

жёсткостью воды, pH, содержанием сульфатов и гидрокарбонатов.

Заключение. Таким образом, установлено, что фоновое содержание иттрия в подземных водах Республики Алтай составляет $0,26 \pm 0,065$ мкг/дм³, но на 9 объектах оно превышало этот уровень в 2-24 раза, что может влиять на здоровье населения. Проблемным вопросом остается отсутствие нормирования иттрия в питьевых водах.

Ключевые слова: иттрий, редкоземельные элементы (РЗЭ), концентрации, подземные воды, мониторинг, здоровье человека, экология, Республика Алтай.

Для цитирования: Щучинов Л.В., Кац В.Е., Савенко К.С., Новикова И.И. Потенциальные экологические проблемы, связанные с присутствием иттрия в подземных водах Республики Алтай. Медицина труда и экология человека. 2025; 2: 97-110.

Для корреспонденции: Щучинов Леонид Васильевич, к.м.н., ведущий научный сотрудник ФБУН «Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены» Роспотребнадзора, e-mail: leo2106@mail.ru.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10206>

POTENTIAL ENVIRONMENTAL PROBLEMS ASSOCIATED WITH THE PRESENCE OF YTTRIUM IN GROUNDWATER IN THE ALTAI REPUBLIC

Shchuchinov L.V.¹, Kats V.E.², Savenko K.S.³, Novikova I.I.¹

¹Novosibirsk Research Institute of Hygiene, Novosibirsk, Russia

²JSC «Altai-Geo», Gorno-Altai, Russia

³Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia

The topic of rare earth elements (REE), which include yttrium, is currently very relevant due to their widespread use in high-tech industries. The range of REE applications is growing, and the frequency of human contact with them is expected to increase. For a long time, it was believed that REE are biologically neutral, but an analysis of domestic and foreign articles shows that yttrium can have a toxic effect on the human body, so it

is necessary to study the prevalence of this element in vital environments, including drinking water. In the Altai Republic, the concentration of yttrium in groundwater, which is the source of domestic and drinking water supply for the population, has not been sufficiently studied.

The aim of the work is to study the concentrations of yttrium in groundwater of the Altai Republic and an environmental assessment of the results obtained.

Material and methods. A total of 173 water samples (1-3 samples from 60 boreholes, 5 wells and 60 springs) were analyzed using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The protocols of these studies were analyzed using Microsoft Excel to determine the minimum, maximum and average concentrations of yttrium, to plot graphs and identify correlations between yttrium and other chemical parameters of the water.

Results. It was found that the regional background of yttrium for groundwater in the Altai Republic is $0.26 \pm 0.065 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. At 9 objects the maximum yttrium concentrations were higher than the average value by 2 or more times. The highest yttrium level ($6.60 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) was noted in a water sample taken from a borehole located next to a waste storage facility for a gold extraction plant. Statistically significant correlations were revealed between yttrium concentrations and total mineralization and water hardness, pH, sulfate concentration and hydrocarbonate concentration.

Conclusion. Thus, it was established that the background concentration of yttrium in the underground waters of the Altai Republic is $0.26 \pm 0.065 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, but at 9 sites it exceeded this level by 2-24 times, which can affect the health of the population. The lack of standardization of yttrium in drinking water remains a problematic issue.

Keywords: yttrium, rare earth elements (REE), concentrations, groundwater, monitoring, human health, ecology, monitoring, the Altai Republic.

For citation: Shchuchinov L.V., Katz V.E., Savenko K.S., Novikova I.I. Potential environmental problems associated with the presence of yttrium in the groundwater of the Altai Republic. *Occupational Medicine and Human Ecology*. 2025; 2: 97–110.

Correspondence: Shchuchinov Leonid Vasilievich, Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher at the Federal Budgetary Scientific Institution «Novosibirsk Research Institute of Hygiene» of Rospotrebnadzor, e-mail: leo2106@mail.ru.

Funding: the study had no financial support.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10206>

Тема редкоземельных элементов (РЗЭ) сейчас очень актуальна из-за их широкого использования в высокотехнологичных областях промышленности. В условиях современной политической нестабильности РЗЭ стали относиться к критически важному сырью, обеспечивающему национальную безопасность страны, поэтому в большинстве научных публикаций обсуждается распространенность мировой и отечественной минерально-сырьевой базы, предлагаются новые методы добычи и переработки РЗЭ, описываются области применения этих элементов. Объемы использования РЗЭ растут, не только в промышленности, но и в быту, так как они входят в состав смартфонов, компьютеров, телевизоров, энергосберегающих лампочек и автомобилей, однако экологические аспекты до настоящего времени изучены мало, в частности, недостаточно сведений о содержании РЗЭ в жизненно важных средах (в том числе в питьевой воде) [1] и о влиянии отдельных элементов на здоровье человека [2]. Среди 17 редкоземельных элементов иттрий (Y) стоит обособленно: он (как и скандий) не входит в группу лантаноидов, состоящих из 15 элементов, и имеет от них отличия, как в физико-химических свойствах, так и в биологическом воздействии. Если до недавнего времени РЗЭ считались биологически нейтральными, то на токсичность иттрия для живых организмов российские и зарубежные ученые обратили внимание уже давно [3, 4]. Присутствие иттрия в питьевой воде может влиять на его накопление в организме человека [5, 6]. В Республике Алтай основой хозяйственно-питьевого водоснабжения населения являются подземные воды, однако содержание иттрия в них практически не изучалось, что и определило выбор нашего исследования.

Цель работы – исследование концентраций иттрия в подземных водах Республики Алтай и экологическая оценка полученных результатов.

Материалы и методы. Пробы подземных вод отбирали в рамках Государственного мониторинга состояния недр (ГМСН) и при специальных гидрогеохимических исследованиях родников Горного Алтая в 2013-2018, 2024 годах. Работу проводили во всех 10 районах Республики Алтай и в городе Горно-Алтайске. Всего было отобрано 173 пробы (по 1-3 пробы из 60 скважин, 5 колодцев и 60 родников). Анализ проводился в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета, содержание иттрия определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) с помощью масс-спектрометра NexION 300D. Статистический анализ данных проводился в программе Microsoft Excel, определяли минимальные, максимальные, средние концентрации иттрия и уровни погрешности, а также делали корреляционный анализ и графические построения.

Результаты. Исследование показало, что из 173 проанализированных проб (89 проб из скважин, 7 из колодцев и 77 из родников) концентрации иттрия были ниже порога обнаружения ($<0,010$ мкг/дм³) в 11 из них (6,3%). В остальных 162 пробах (93,7%) концентрации иттрия варьировали от 0,010 мкг/дм³ до 6,60 мкг/дм³, при среднем (фоновом) значении $0,26 \pm 0,065$ мкг/дм³. На 9 водных объектах (7,2%) содержание иттрия составляло более 0,5 мкг/дм³, что в 2 и более раз выше фонового уровня (табл.).

Таблица. Подземные водоисточники Республики Алтай с максимальным содержанием иттрия более 0,5 мкг/дм³.

Table. Groundwater sources of the Altai Republic with maximum yttrium concentrations exceeding 0.5 µg/dm³.

П/П	Населенный пункт, район	Место нахождения	Тип водоисточника	Концентрации иттрия мкг/ дм ³
1	г. Горно-Алтайск	ул. Северная	трубчатый колодец	3,5-5,4
2	с. Сейка, Чойский	рудник «Веселый»	наблюдательная скважина	0,02-6,60
3	с. Элекмонар, Чемальский	ул. Береговая, 20	скважина	0,57-1,90
4	с. Элекмонар, Чемальский	ул. Советская, 21	скважина	0,49-0,52
5	с. Кара Кобы Онгудайский	родник в Широком Логу	родник	0,73
6	с. Турочак, Турочакский	родник «Маячный»	родник	0,60
7	с. Оро, Усть-Канский	школа	скважина	2,60
8	с. Балыкча, Улаганский	больница	трубчатый колодец	2,60
9	с. Паспарта, Улаганский	школа	скважина	2,0-5,2

Из перечисленных источников подземных вод только два не используются населением для питьевых целей – трубчатый колодец в г. Горно-Алтайске по улице Северная и наблюдательная скважина на руднике «Весёлый» рядом с хвостохранилищем – местом хранения отходов горной добычи.

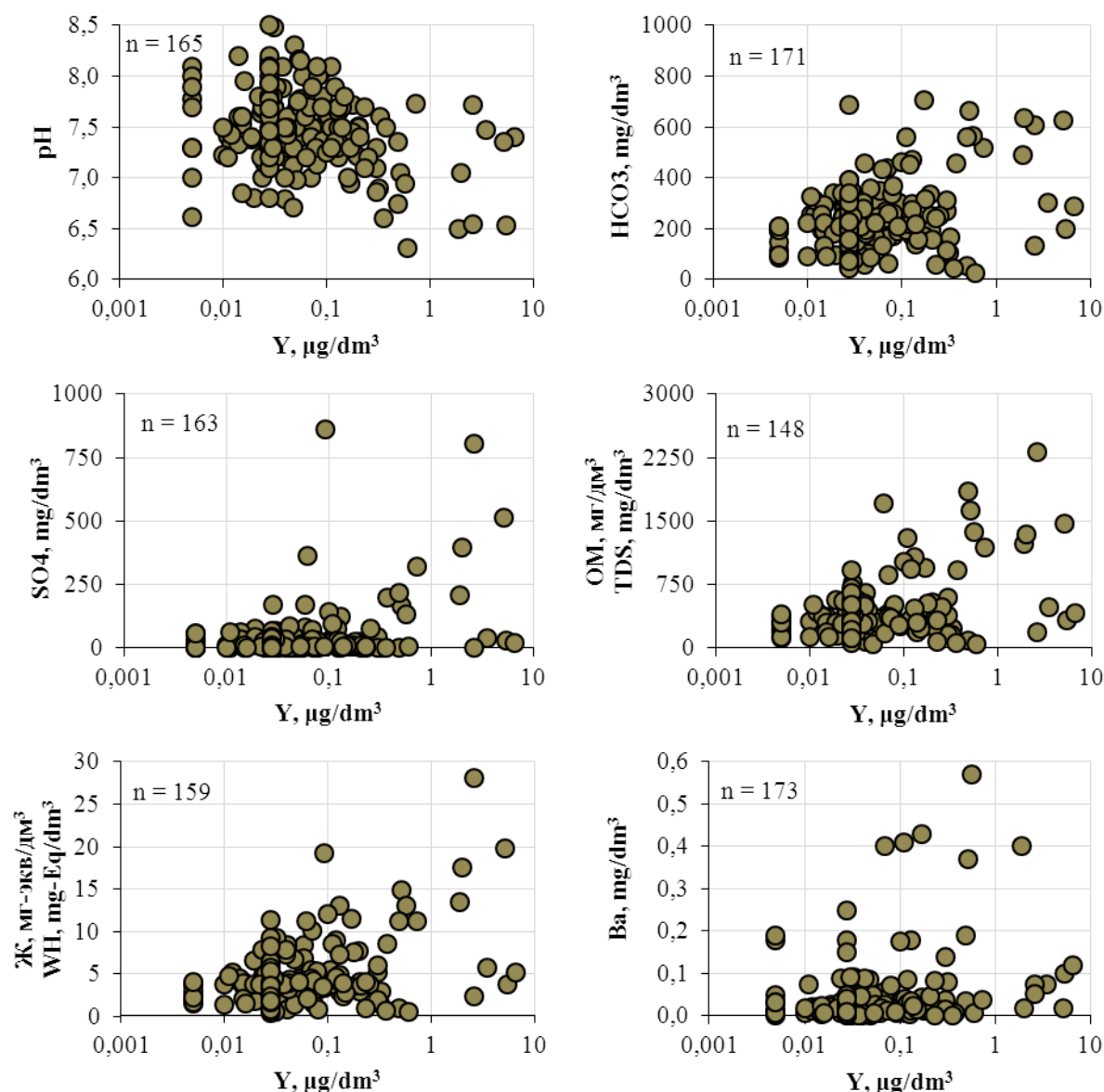
Максимальная концентрация иттрия (6,60 мкг/дм³) установлена в пробе, отобранной из скважины, расположенной у подножия дамбы (ниже по рельефу)

хвостохранилища золотоизвлекательной фабрики АО «Рудник» Весёлый». Этот результат был вполне ожидаемым, так как извлечение золота из медно-колчеданных руд приводит к загрязнению почвы РЗЭ при выносе на поверхность и переработке глубоких пород [7]. Обнаружение иттрия в воде этой скважины может говорить о его нахождении также в почве и отвалах горных пород.

Интересен и второй объект с высоким содержанием иттрия (до 5,4 мкг/дм³) – горно-алтайский трубчатый колодец (Государственный наблюдательный пункт состояния подземных вод – ГНС «Северный»), где после крупного Алтайского (Чуйского) землетрясения (2003 г.) было выявлено повышение температуры подземных вод с 7°C до 32°C, причем косейсмические геотермические реакции отмечаются до настоящего времени [8]. Вполне вероятно, что изменение температурного режима при сейсмической активации обусловлено подъемом глубинных термальных вод, обогащенных РЗЭ, в том числе иттрием.

На третьем месте среди объектов с высоким содержанием иттрия (до 5,2 мкг/дм³) является вода из школьной скважины в селе Паспарта Улаганского района, где повышенные концентрации иттрия обусловлены, как и в остальных источниках питьевого водоснабжения, естественной причиной – присутствием РЗЭ в водовмещающих породах.

Согласно литературным данным накопление иттрия в воде ограничивается плохой растворимостью его соединений (гидрокарбонатные, фосфатные, сульфатные и др.) в среде с повышенными значениями pH [9], при проведении корреляционного анализа нами были выявлены сходные закономерности (рис.).



Примечание: Ж – жесткость общая; OM – общая минерализация; n – количество проб

Рисунок 1. Графики взаимосвязей концентраций иттрия с показателями химического состава подземных вод Республики Алтай.

Figure 1. Graphs of the relationships between yttrium concentrations and chemical composition parameters of groundwater in the Altai Republic.

Выявлены статистически значимые корреляционные связи концентраций иттрия с содержанием в подземных водах сульфатов, их общей минерализацией и жёсткостью (при уровне значимости 99,9%), значениями pH и содержанием гидрокарбонатов (99%). Для всех показателей (кроме pH) характерны положительные значения коэффициента корреляции, т.е. предварительно можно говорить, что концентрации иттрия в подземных водах Республики Алтай происходит по мере увеличения их общей минерализации, жёсткости и роста

концентраций соединений, участвующих в миграции иттрия, а также смещения реакции водной среды от слабощелочной в сторону нейтральной и слабокислой. Кроме того, выявлена статистически значимая положительная связь (на уровне 90%) между повышенными концентрациями иттрия и бария. Данный аспект и в целом изучение особенностей накопления всех РЗЭ на территории Республики Алтай не только в природных средах, но и в тканях и органах людей, употребляющих воду с повышенным их содержанием, еще требует проведения дальнейших детальных исследований.

Обсуждение. Анализ немногочисленных публикаций по изучению РЗЭ в поверхностных и подземных водах Республики Алтай показал, что содержание иттрия в водоисточниках различается незначительно, не превышая 0,052 мкг/дм³. Так, в бассейне реки Кучерла Усть-Коксинского района концентрация иттрия в поверхностной воде была не выше 0,05 мкг/дм³ [10], в Телецком озере – 0,052 мкг/дм³, а в родниках в окрестностях Джумалинского термального источника варьировала в пределах 0,016-0,05 мкг/дм³ [11]. В нашем исследовании, куда входили более глубокие водные объекты, средняя концентрация была в 5 раз выше – 0,26 мкг/дм³, особенно в случаях исследования воды из скважин. Данные о кларках иттрия для подземных вод в научной литературе отсутствуют, для морских и речных вод они составляют соответственно – 0,3 и 0,04 мкг/дм³.

По литературным данным известно, что для человеческого организма контакт с иттрием, особенно длительный, может вызвать проблемы со здоровьем. В работах российских и зарубежных ученых было показано, что хроническое поступление в организм иттрия, даже в небольших дозах, способно вызывать деструктивные изменения в органах ЖКТ [3, 12], печени и почках [13]. В частности, было выявлено, что этот элемент способствует повреждению печени с воспалением, некрозом и портальным фиброзом [14]. Показано также, что вдыхание пыли, содержащей иттрий, может привести к кашлю и одышке, отеку легких, а при длительном воздействии – к развитию пневмокониоза [15]. Кроме того, при хроническом поступлении в организм иттрий откладывается в костях, что снижает их плотность из-за замещения иттрием кальция и нарушает метаболизм, приводящий к остеопорозу и травмам костей и суставов [16]. Выявлено также, что YCl₃ пагубно воздействует на слизистую оболочку глаз, а также способен вызвать повреждение яичек за счет стимуляции апоптоза клеток [17]. У людей, живущих в районах, с повышенным содержанием РЗЭ, их накопление (в том числе иттрия) было обнаружено в крови, моче и волосах [18, 19]. Не исключено поступление иттрия при приеме препаратов (он входит в состав некоторых онкологических

медикаментов) [13]. Таким образом, иттрий (как и другие редкоземельные элементы) может попадать в организм человека разными путями (через кожу, дыхательные пути, желудочно-кишечный тракт) и накапливаться в различных тканях или органах, представляя угрозу для здоровья человека [13-18, 20].

Между тем, в настоящее время иттрий находит всё более широкое применение в промышленности и электронике. Сплавы с иттрием из-за прочности и огнеупорных свойств используются в авиакосмической промышленности, атомной технике, автомобилестроении. В России, Китае, США иттрий и другие РЗЭ в последние годы отнесены к стратегически важному сырью, поэтому ожидается рост их добычи и переработки, что может повлечь увеличение профессиональных контактов с этими элементами и загрязнение окружающей среды отходами горнодобывающих предприятий, как это уже происходит в Китае, который лидирует в мире по добыче РЗЭ [1, 19, 20].

Не случайно первые попытки нормирования РЗЭ для снижения риска токсического влияния были предприняты именно китайскими учеными, которые предложили допустимую суточную суммарную дозу в 70 мкг/кг массы тела (или 4,9 мг в день, учитывая взрослого человека весом 70 кг) которая была определена в ходе исследования здоровья людей, проживающих в районах добычи РЗЭ, а также при экспериментах на животных [21-24].

Что касается нормирования иттрия в окружающей среде, то стандарты содержания этого элемента в воде, воздухе, пищевых продуктах в России (да и в мире в целом) пока отсутствуют. Единственным исключением является Канада, где недавно были разработаны федеральные рекомендации по качеству воды для редкоземельных элементов [25], в которых представлены нормы для церия, лантана, неодима и иттрия [6]. В Российской Федерации для подземных вод установлены ориентировочно допустимые уровни только для соединений самария (SmCl_3) – 24 мкг/дм³ и европия (Eu_2O_3) – 300 мкг/дм³ (СанПиН 1.2.3685-21), т. е. допустимые концентрации для иттрия не определены.

Заключение. В работе показано, что содержание иттрия в подземных водах Республики Алтай варьирует в пределах 0,010-6,60 мкг/дм³. Региональный фон этого элемента для подземных вод Республики Алтай, исходя из проведенных исследований, определен на уровне 0,26 мкг/дм³.

Выявлено 9 объектов с повышенным уровнем иттрия, из которых 7 объектов используются для питьевого водоснабжения населения (с максимальными концентрациями иттрия 0,6-5,4 мкг/дм³, т.е. в 2-19 раз выше фоновых значений). Наиболее высокое содержание иттрия (6,60 мкг/дм³) выявлено в воде из

наблюдательной скважины, не использующейся для питьевых целей и находящейся рядом с хвостохранилищем золотодобывающего предприятия, что требует последующих исследований переработанных руд на предмет определения возможности вторичной переработки отходов этого рудника для извлечения иттрия (и других РЗЭ).

Установлены статистически значимые (на уровне 99%) корреляционные связи концентраций иттрия с общей минерализацией и жёсткостью и pH воды, а также с содержанием в ней сульфатов и гидрокарбонатов.

Ввиду имеющихся подтвержденных научных данных о негативном влиянии иттрия на здоровье человека, особенно при его хроническом поступлении в организм, например, с питьевой водой, полученные результаты по подземным водам Республики Алтай говорят о потенциальных экологических проблемах, требующих их дальнейшего изучения. В частности, представляется вероятной возможность влияния на здоровье населения подземных вод, используемых для питьевых целей в тех населенных пунктах, где были обнаружены высокие концентрации РЗЭ – в селах Сейка, Элекмонар, Турочак, Паспарта, Балыкча.

Учитывая токсичность иттрия, проблемным вопросом остается отсутствие его нормирования в питьевых водах.

Список литературы:

1. Balaram V. Rare Earth Elements: A Review of Applications, Occurrence, Exploration, Analysis, Recycling, and Environmental Impact. *Geoscience Frontiers*. 2019; 10 (4): 1285-1303. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.005>.
2. Rim K., Koo K., Park J. Toxicological evaluations of rare earths and their health impacts to workers: A literature review. *Safety and Health Work*. 2013; 4: 12-26. <https://doi.org/10.5491/SHAW.2013.4.1.12>.
3. Левина Э.Н. Значение накопления металлов в клетке. Актуальные проблемы гигиены и токсикологии. М.: Медицина, 1980.
4. Nakamura Y., Hasegawa Y., Tonogai, Kanamoto M., Tsuboi N., Murakami K. et al. Studies on the biological effects of rare earth elements: I. Method for analysis of dysprosium, europium, ytterbium and yttrium from the biological materials. *Eisei Kagaku*. 1991; 37: 28-38. <https://colab.ws/articles/10.1248%2Fjhs1956.37.28>.
5. Gwenzi W., Mangori L., Danha C., Chaukura N., Dunjana N., Sanganyado E. Sources, behaviour, and environmental and human health risks of high-technology rare earth elements as emerging contaminants. *Science of The Total Environment*. 2018; 636: 299-313. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.235>.
6. Cendon D., Rowling B., Hughes C., Payne T.E., Hankin S.I., Harrison J.J., et al. Rare earth elements and yttrium as tracers of waste/rock-groundwater interactions. *Science of The Total Environment*. 2022; 830: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154706>.

7. Pereira W.V.D.S., Ramos S.J., Melo L.C.A., Dias Y.N., Martins G.C., Ferreira L.C.G. et al. Human and Environmental Exposure to Rare Earth Elements in Gold Mining Areas in the Northeastern Amazon. *Chemosphere*. 2023; 340: 139824. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139824>.
8. Щучинов Л.В., Кац В.Е., Ролдугин В.В., Новикова И.И. Исследование косейсмических геотермических реакций подземных вод Горно-Алтайска в афтершоковый период Чуйского землетрясения (2004-2023 гг.). *Медицина труда и экология человека*. 2024; 39(3): 132-146. <https://doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10308>.
9. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Кн. 6: Редкие f-элементы. М.: Экология, 1997.
10. Бородина Е.В., Бородина У.О. Особенности состава поверхностных вод бассейна р. Кучерлы (Горный Алтай). *Водные ресурсы*. 2020; 4: 368-379. <http://dx.doi.org/10.31857/S0321059620040045>.
11. Паничев А.М., Барановская Н.В., Вах Е.А. Новые данные по химическому составу вод Джумалинского геотермального источника, Горный Алтай, Россия. Полевые исследования в Алтайском биосферном заповеднике. 2022; 4: 137-143. https://doi.org/10.52245/26867109_2022_4_137.
12. Спасский С.С. Токсичность окиси иттрия. *Гигиена труда и профессиональных заболеваний*. 1978; 7: 55-56.
13. Жалсараева Д.М., Ким Н.Ю., Жалсараев М.Д. Патоморфоз печени при действии иттрия сульфата. *Медицина в Кузбассе*. 2005; 4: 52-54.
14. Páramo M., Santamaría E., Idoate M.A., Rodríguez-Fraile M., Benito A., Collantes M., et al. A new animal model of atrophy-hypertrophy complex and liver damage following Yttrium-90 lobar selective internal radiation therapy in rabbits. *Scientific Reports*. 2022; 12: 1777. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05672-3>.
15. Han Y., Lee D.K., Kim S.H., Lee S., Jeon S., Cho W.S. High inflammogenic potential of rare earth oxide nanoparticles: The New Hazardous Entity. *Nanotoxicology*. 2018; 12: 712-728. <https://doi.org/10.1080/17435390.2018.1472311>.
16. Galusha A.L., Kruger P.C., Howard L.J., Parsons P.J. An assessment of exposure to rare earth elements among patients receiving long-term parenteral nutrition. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2018; 47:156-163. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.02.013>.
17. Liu Z., Ding Y., Xie S., Xiao H, Liu X, Fan X. Chronic exposure to yttrium induced cell apoptosis in the testis by mediating Ca²⁺/IP3R1/CaMKII signaling. *Frontiers in Public Health*. 2023; 30(11): 1104195. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1104195>.
18. Brouziotis A.A., Giarra A., Libralato G., Pagano G., Guida M., Trifuoggi M. Toxicity of rare earth elements: An overview on human health impact. *Frontiers in Environmental Science*. 2022; 10: 948041. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.948041>.
19. Dai L., Ge J., Wang L., Wan X., Guo G., Liang T., et al. Hair-biomonitoring assessment of rare-earth-element exposure in residents of the largest rare-earth mining and smelting area of China. *Environment International*. 2023; 179: 108177. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108177>.
20. Pagano G., Thomas P.J., Di Nunzio A., Trifuoggi M. Human exposures to rare earth elements: Present knowledge and research prospects. *Environmental Research*. 2019; 171: 493-500. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.004>.

21. Zhuang M., Wang L., Wu G., Wang K., Jiang X., Liu T., et al. Health risk assessment of rare earth elements in cereals from mining area in Shandong. China. *Scientific Reports*. 2017; 7: 1-6. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10256-7>.
22. Zhuang M., Zhao J., Li S., Liu D., Wang K., Xiao P., et al. Concentrations and health risk assessment of rare earth elements in vegetables from mining area in Shandong, China. *Chemosphere*. 2017; 168: 578-582. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.023>.
23. Yang L., Wang X., Nie H., Shao L., Wang G., Liu Y. Residual levels of rare earth elements in freshwater and marine fish and their health risk assessment from Shandong, China. *Marine Pollution Bulletin*. 2016; 107(1): 393-397. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.034>.
24. Wang W., Yang Y., Wang D., Huang L. Toxic Effects of Rare Earth Elements on Human Health: A Review. *Toxics*. 2024; 12(5): 317. <https://doi.org/10.3390/toxics12050317>.
25. Yin X., Martineau C., Demers I., Basiliko N. The potential environmental risks associated with the development of rare earth element production in Canada. *Environmental Reviews*. 2021; 29(3): 354-377. <https://doi.org/10.1139/er-2020-0115>.

References:

1. Balaram V. Rare Earth Elements: A Review of Applications, Occurrence, Exploration, Analysis, Recycling, and Environmental Impact. *Geoscience Frontiers*. 2019;10 (4):1285-1303. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.005>.
2. Rim K., Koo K., Park J. Toxicological evaluations of rare earths and their health impacts to workers: A literature review. *Safety and Health Work*. 2013; 4: 12-26. <https://doi.org/10.5491/SHAW.2013.4.1.12>.
3. Levina E.N. Znachenie nakopleniya metallov v kletke. Aktual'nye problemy gigieny i toksikologii. M.: Medicina, 1980. (In Russ.).
4. Nakamura Y., Hasegawa Y., Tonogai, Kanamoto M., Tsuboi N., Murakami K. et al. Studies on the biological effects of rare earth elements: I. Method for analysis of dysprosium, europium, ytterbium and yttrium from the biological materials. *Eisei Kagaku*. 1991; 37: 28-38. <https://colab.ws/articles/10.1248%2Fjhs1956.37.28>.
5. Gwenzi W., Mangori L., Danha C., Chaukura N., Dunjana N., Sanganyado E. Sources, behaviour, and environmental and human health risks of high-technology rare earth elements as emerging contaminants. *Science of The Total Environment*. 2018; 636: 299-313. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.235>.
6. Cendon D., Rowling B., Hughes C., Payne T.E., Hankin S.I., Harrison J.J., et al. Rare earth elements and yttrium as tracers of waste/rock-groundwater interactions. *Science of The Total Environment*. 2022; 830: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154706>.
7. Pereira W.V.D.S., Ramos S.J., Melo L.C.A., Dias Y.N., Martins G.C., Ferreira L.C.G. et al. Human and Environmental Exposure to Rare Earth Elements in Gold Mining Areas in the Northeastern Amazon. *Chemosphere*. 2023; 340: 139824. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139824>.
8. Shchuchinov L.V., Kats V.E., Roldugin V.V., Novikova I.I. Study of coseismic geothermal reactions of groundwaters in the town of Gorno-Altai during the aftershock period of the chuye earthquake (2004-2023). *Medicina truda i ekologiya cheloveka*. 2024; 3: 132-146. DOI: 10.24412/2411-3794-2024-10308 (In Russ.).

9. Ivanov VV. Ekologicheskaya geohimiya elementov. – Kn. 6: Redkie f-elementy. M.: Ekologiya, 1997. (In Russ).
10. Borodina E.V., Borodina U.O. Surface water chemistry in the Kucherla river basin, the Altai mountains. *Water Resources*. 2020; 4: 368-379. <http://dx.doi.org/10.31857/S0321059620040045> (In Russ.).
11. Panichev A.M., Baranovskaya N.V., Vakh E.A. New data on the chemical composition of the waters of the Dzhumalinsky geothermal spring, Gorny Altai, Russia. *Polevye issledovaniya v Altaiskom biosfernomzapovednike*. 2022; 4: 137-143. https://doi.org/10.52245/26867109_2022_4_137 (in Russ.).
12. Spasskij S.S. Toksichnost' okisi ittriya. *Gigiena truda i professional'nyh zabolevanij*. 1978; 7: 55-56. (In Russ.).
13. ZHalsaraeva D.M., Kim N.YU., ZHalsaraev M.D. Patomorfoz pecheni pri dejstvii ittriya sul'fata. *Medicina v Kuzbasse*. 2005; 4: 52-54. (In Russ.).
14. Páramo M., Santamaría E., Idoate M.A., Rodríguez-Fraile M., Benito A., Collantes M., et al. A new animal model of atrophy-hypertrophy complex and liver damage following Yttrium-90 lobar selective internal radiation therapy in rabbits. *Scientific Reports*. 2022; 12: 1777. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05672-3>.
15. Han Y., Lee D.K., Kim S.H., Lee S., Jeon S., Cho W.S. High inflammogenic potential of rare earth oxide nanoparticles: The New Hazardous Entity. *Nanotoxicology*. 2018; 12: 712-728. <https://doi.org/10.1080/17435390.2018.1472311>.
16. Galusha A.L., Kruger P.C., Howard L.J., Parsons P.J. An assessment of exposure to rare earth elements among patients receiving long-term parenteral nutrition. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2018; 47: 156-163. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.02.013>.
17. Liu Z., Ding Y., Xie S., Xiao H, Liu X, Fan X. Chronic exposure to yttrium induced cell apoptosis in the testis by mediating Ca²⁺/IP3R1/CaMKII signaling. *Frontiers in Public Health*. 2023; 30(11): 1104195. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1104195>.
18. Brouziotis A.A., Giarra A., Libralato G., Pagano G., Guida M., Trifuoggi M. Toxicity of rare earth elements: An overview on human health impact. *Frontiers in Environmental Science*. 2022; 10: 948041. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.948041>.
19. Dai L., Ge J., Wang L., Wan X., Guo G., Liang T., et al. Hair-biomonitoring assessment of rare-earth-element exposure in residents of the largest rare-earth mining and smelting area of China. *Environment International*. 2023; 179: 108177. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108177>.
20. Pagano G., Thomas P.J., Di Nunzio A., Trifuoggi M. Human exposures to rare earth elements: Present knowledge and research prospects. *Environmental Research*. 2019; 171: 493-500. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.004>.
21. Zhuang M., Wang L., Wu G., Wang K., Jiang X., Liu T., et al. Health risk assessment of rare earth elements in cereals from mining area in Shandong. China. *Scientific Reports*. 2017; 7: 1-6. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10256-7>.
22. Zhuang M., Zhao J., Li S., Liu D., Wang K., Xiao P., et al. Concentrations and health risk assessment of rare earth elements in vegetables from mining area in Shandong, China. *Chemosphere*. 2017; 168: 578-582. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.023>.
23. Yang L., Wang X., Nie H., Shao L., Wang G., Liu Y. Residual levels of rare earth elements in freshwater and marine fish and their health risk assessment from Shandong, China. *Marine Pollution Bulletin*. 2016; 107(1): 393-397. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.034>.

24. Wang W., Yang Y., Wang D., Huang L. Toxic Effects of Rare Earth Elements on Human Health: A Review. *Toxics*. 2024; 12(5): 317. <https://doi.org/10.3390/toxics12050317>.
25. Yin X., Martineau C., Demers I., Basiliko N. The potential environmental risks associated with the development of rare earth element production in Canada. *Environmental Reviews*. 2021; 29(3): 354-377. <https://doi.org/10.1139/er-2020-0115>.

Поступила/Received: 23.04.2025

Принята в печать/Accepted: 25.05.2025

УДК 615.1(091)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Дорохина О.А.¹, Анохин А.Н.²

¹Кафедра управления и экономики фармации, фармацевтической технологии и фармакогнозии ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава России, Оренбург, Россия

²Кафедра безопасности жизнедеятельности, физической культуры и методики преподавания безопасности жизнедеятельности института физической культуры и спорта ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный педагогический университет», Оренбург, Россия

Статья посвящена анализу роли лекарственных растений в системе медицинского обеспечения Советского Союза в годы Великой Отечественной войны. В условиях острого дефицита медикаментов заготовка и переработка растительного сырья стали стратегически важной задачей. Объектом исследования является использование фитотерапии для восполнения дефицита медикаментов в условиях разрушения фармацевтической инфраструктуры и прекращения импорта.

Целью данного исследования является анализ роли лекарственных растений в медицинском обеспечении Советского Союза в годы Великой Отечественной войны, а также изучение научных и организационных мероприятий, направленных на использование растительных ресурсов в военное время.

Материалы и методы. В исследовании использован историко-аналитический подход с привлечением архивных документов, научных публикаций и отчетов военного времени.

Результаты. Выявлено, что благодаря масштабной заготовке и переработке лекарственного растительного сырья, расширению ассортимента фитопрепаратов и активизации научных разработок удалось существенно восполнить нехватку синтетических медикаментов. Сделан вывод о стратегическом значении фитотерапии для устойчивости системы медицинского снабжения в условиях кризиса и о её влиянии на дальнейшее развитие фармацевтической науки в СССР.

Ключевые слова: Великая Отечественная война, лекарственные растения, фитотерапия, мобилизация природных ресурсов, аптечные учреждения, растительное сырьё.

Для цитирования: Дорохина О.А., Анохин А.Н. Использование лекарственных растений в годы Великой Отечественной войны. Медицина труда и экология человека. 2025; 2: 111-123.

Для корреспонденции: Дорохина Ольга Алексеевна к.б.н., доцент кафедры управления и экономики фармации, фарм. технологии и фармакогнозии ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава России, ya82@bk.ru.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10207>

THE USE OF MEDICINAL PLANTS DURING THE GREAT PATRIOTIC WAR

Dorokhina O.A.¹, Anokhin A.N.²

¹Orenburg State Medical University, Department of Economics of Pharmacy, Pharmaceutical Technology and Pharmacognosy, Orenburg, Russia

²Orenburg State Pedagogical University, Department of Life Safety, Physical Culture and methods of teaching Life Safety of the Institute of Physical Culture and Sports, Orenburg, Russia

The article is devoted to the analysis of the role of medicinal plants in the medical support system of the Soviet Union during the Great Patriotic War. In conditions of acute shortage of medicines, harvesting and processing of plant raw materials has become a strategically important task. The object of the study is the use of phytotherapy to fill the shortage of medicines in conditions of destruction of pharmaceutical infrastructure and cessation of imports.

Material and methods. The study uses a historical and analytical approach involving archival documents, scientific publications and wartime reports.

Results. It was revealed that due to the large-scale harvesting and processing of medicinal plant raw materials, the expansion of the range of phytopreparations and the intensification of scientific research, it was possible to significantly fill the shortage of synthetic medicines. The conclusion is made about the strategic importance of phytotherapy for the stability of the medical supply system in times of crisis and its impact on the further development of pharmaceutical science in the USSR.

Keywords: The Great Patriotic War, medicinal plants, phytotherapy, mobilization of natural resources, pharmacy facilities, herbal raw materials.

For citation: Dorokhina O.A., Anokhin A.N. The use of medicinal plants during the Great Patriotic War. *Occupational Medicine and Human Ecology*. 2025; 2: 111–123.

Correspondence: Dorokhina Olga Alekseevna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Pharmacy Management, Pharmaceutical Technology, and Pharmacognosy, Orenburg State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, e-mail: ya82@bk.ru.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10207>

В период Великой Отечественной войны (1941–1945 гг.) Советский Союз столкнулся с острой нехваткой медикаментов, вызванной оккупацией западных территорий, где располагались основные фармацевтические предприятия, и прекращением импорта лекарственных средств. Многие лекарственные препараты, такие как антибиотики, антисептики, сердечные и обезболивающие средства, стали недоступны или производились в недостаточном количестве. Это создало серьезную проблему для военной медицины, требующей значительных объемов медицинских препаратов для лечения раненых, профилактики инфекционных заболеваний и оказания первой помощи [1, 2].

В этих условиях использование лекарственных растений стало не просто вынужденной мерой, а стратегически важным направлением в обеспечении медицинских потребностей фронта и тыла. Ботаники, фармакологи и медики были вынуждены искать отечественные аналоги дефицитных медикаментов, обращаясь к богатому народному опыту фитотерапии. Исследовательские институты, фармацевтические предприятия и медицинские учреждения активно включились в работу по изучению, сбору и переработке лекарственного растительного сырья [3, 4].

Особое значение приобрели флористические ресурсы Сибири, Дальнего Востока, Урала и Кавказа, где произрастало множество ценных лекарственных растений. Их заготовка стала одной из важнейших задач в военные годы. Массовые кампании по сбору растений были организованы среди населения, включая школьников, студентов медицинских и фармацевтических вузов, работников колхозов и предприятий. В результате удалось создать широкий ассортимент фитопрепаратов, способных частично заменить импортные и синтетические лекарства [3, 4].

Целью данного исследования является анализ роли лекарственных растений в медицинском обеспечении Советского Союза в годы Великой Отечественной войны, а также изучение научных и организационных мероприятий, направленных на использование растительных ресурсов в военное время.

Материалы и методы исследования. В ходе исследования были изучены архивные документы, научные статьи и отчеты военного периода, посвященные заготовке и использованию лекарственных растений. Особое внимание уделено материалам, отражающим деятельность Главного аптечного управления Наркомздрава РСФСР, ботанических садов, фармацевтических предприятий и медицинских учреждений, занимавшихся разработкой и внедрением фитопрепаратов в медицинскую практику. Методологической основой исследования послужил историко-аналитический подход, позволяющий комплексно оценить масштабы и значение использования растительных ресурсов в военное время.

Результаты. Великая Отечественная война привела к потере более 40 фармацевтических заводов, складов медицинского имущества и основных районов выращивания лекарственного сырья, в том числе в Белоруссии и южных регионах РСФСР. В этих условиях необходимо было срочно наладить сбор и переработку лекарственных растений в восточных регионах СССР, на Урале, в Сибири, Средней Азии и Закавказье. Главное аптечное управление Наркомздрава РСФСР развернуло масштабную программу заготовки растительного сырья, что стало важнейшей частью медицинского обеспечения фронта и тыла. В 1942 году Совет народных комиссаров РСФСР принял постановление «Об увеличении заготовки лекарственных растений и производства из них медикаментов», которое поставило перед местными органами власти задачу организовать массовый сбор дикорастущего сырья и создать дополнительные галеновые лаборатории. В результате номенклатура заготовленного сырья увеличилась с 25 до 105 наименований [3].

Важную роль играли специализированные учреждения, такие как межобластные конторы Всесоюзного треста по заготовке лекарственных растений. Например, в Куйбышевской области действовала межобластная контора, которая обеспечивала переработку собранного сырья и его поставку в эвакогоспитали, медицинские учреждения тыла и на фармацевтические предприятия. Здесь были организованы специальные склады и сушильные цеха, позволявшие заготавливать лекарственные растения в промышленных масштабах [5].

В летний период 1942 года среди работников аптечных учреждений было организовано социалистическое соревнование по сбору растений, а также проводились воскресники с участием населения. К этой работе привлекались различные слои населения, включая школьников, студентов медицинских и фармацевтических вузов, работников колхозов, домохозяек и пенсионеров, а также заключённых исправительных учреждений. Важную роль играли добровольные инициативы: местные жители организовывали отряды по сбору растений, медицинские работники консультировали население по методам заготовки и обработки сырья, а государственные структуры обеспечивали централизованную координацию поставок на фармацевтические предприятия. Кроме того, сельские магазины стимулировали сборщиков, выдавая промышленные товары в обмен на лекарственное сырьё. Часть сырья отправлялась на фармацевтические заводы, а оставшееся использовалось в галеновых лабораториях для изготовления препаратов [5].

По архивным данным, объёмы заготовки лекарственных растений в стране увеличились в 10 раз по сравнению с довоенным периодом. В 1942 году в Ульяновской области было заготовлено 24,2 тонны лекарственных растений по 39 наименованиям, в 1943 году – 37,7 тонны по 46 наименованиям, а в 1944–1945 годах – 58,2 тонны по 59 наименованиям. В 1941 году учащиеся средней школы № 91 г. Сталинграда собрали 68 кг плодов шиповника. В 1942 году план сбора по Сталинградской области составлял 3,39 тонны, а в 1944 году был перевыполнен на 276%. Массовый сбор растений осуществлялся не только в крупных регионах, но и в отдалённых районах, где мобилизовывались ресурсы местной флоры. Так, например, в Сибири и на Дальнем Востоке были организованы экспедиции по сбору элеутерококка, аралии маньчжурской и родиолы розовой, обладающих иммуностимулирующими свойствами. В центральной части страны и на Урале активно заготавливали алтей, девясил, кровохлёбку и кору дуба, которые использовались для лечения инфекционных заболеваний и ран [1, 5, 6].

Научные учреждения, такие как Томский государственный университет, организовывали экспедиции в Сибирь, Хакасию, Алтай и Забайкалье с целью поиска и заготовки лекарственного сырья, в частности белены, калины, водяного перца, кровохлёбки и множества других видов растений, обладавших антисептическими и противовоспалительными свойствами. Большую роль в координации работы ученых, фармацевтов и медиков сыграл Томский комитет ученых, который еще в июле 1941 года принял решение о разработке программ по замене импортных лекарственных растений дикорастущими видами Сибири. Эти

растения направлялись на переработку в местные фармацевтические заводы и госпитали, а также использовались для создания растительных препаратов, необходимых для лечения раненых [7, 8].

Одним из ключевых направлений стало выращивание лекарственного сырья: на 16 гектарах были организованы плантации, на которых культивировались такие растения, как красавка обыкновенная, валериана лекарственная, наперстянка красная, ромашка далматская и кавказская, базилик камфорный. С 1942 по 1946 год было собрано значительное количество сырья, в том числе 1030 кг листьев белладонны и 1980 кг листьев наперстянки красной. Кроме того, выращенная рассада передавалась в колхозы для расширения масштабов производства лекарственных растений [9].

Сотрудники ботанических садов, такие как Ботанический сад Томского государственного университета, разработали технологии массовой заготовки лекарственных растений и обучали гражданские организации методам их сбора и переработки. Важнейшую роль в распространении информации о фитотерапии сыграли научные публикации и методические пособия, выпущенные медицинскими учреждениями в военные годы, в которых подробно описывались способы заготовки, хранения и применения лекарственных растений [7, 8, 10].

Во время Великой Отечественной войны Ботанический сад Горьковского государственного университета (ГГУ) также перестроил свою деятельность, сосредоточившись на выращивании лекарственных растений, маскировке стратегических объектов, обеспечении продовольствием сотрудников и оказании помощи нуждающимся регионам. Основная задача заключалась в сохранении ценных коллекций и мобилизации ресурсов для нужд фронта и тыла. Активно изучали культивирование и переработку лекарственных растений. Здесь был создан специализированный отдел, занимавшийся выращиванием лекарственных трав, включая валериану, зверобой, мяту и пустырник. В условиях войны возникла острая необходимость в создании полевых плантаций лекарственных растений, которые могли заменить утраченные источники сырья. Горьковский ботанический сад разработал методы ускоренной культивации ряда лекарственных растений, что позволило значительно увеличить объемы их производства для нужд фронта и тыла [9].

Кроме того, важнейшую роль в обеспечении медицинскими препаратами играл Ботанический институт Академии наук СССР, который разрабатывал методы переработки лекарственного сырья и искал новые источники полезных соединений в дикорастущих растениях. Исследования ученых позволили выявить

и внедрить в медицинскую практику ранее неиспользуемые виды растений с выраженными антисептическими, ранозаживляющими и обезболивающими свойствами. Также проводились исследования по использованию растений для производства стратегического сырья, включая заменители натурального каучука и дубильные вещества, необходимые для производства перевязочных материалов [7, 11].

Аптечная сеть страны в условиях войны столкнулась с серьезными испытаниями. Более 8000 аптечных учреждений было уничтожено или разграблено в ходе боевых действий, что привело к катастрофическому дефициту медикаментов. Потеря крупных аптечных складов и разрушение фармацевтических предприятий сделали невозможными централизованные поставки многих жизненно важных препаратов. Война привела к значительному дефициту фармацевтических кадров. К 1941 году нехватка провизоров составляла 20%, а специалистов со средним образованием – 55%. В результате часть работников аптек была заменена фельдшерами, медсёстрами и врачами. Подростки осваивали профессии помощников провизоров, занимались упаковкой и доставкой препаратов. Студенты старших курсов направлялись на круглосуточную работу в аптечные учреждения, где закрепляли полученные знания на практике. Ситуация начала меняться только в середине войны, когда были организованы курсы повышения квалификации для работников аптек и ускоренные программы обучения в фармацевтических вузах [10, 12, 13].

На фоне нехватки медикаментов аптеки начали самостоятельно изготавливать препараты, востребованные в конкретных регионах. Это были кровезаменители, обезболивающие, антисептики и витаминные составы. В Ленинграде, например, фармацевты готовили растворы, фильтруя воду через ватно-марлевые салфетки и стерилизуя её на примусах. Аптечный отдел Наркомздрава СССР был эвакуирован в Казань 16 октября 1941 года. Несмотря на трудности, ведомство организовало работу фармацевтической отрасли: были установлены нормы расхода медикаментов для госпиталей, разработан перечень лекарственных растений, внедрены новые растительные препараты, составлен аптечный мануал, изданы листовки и брошюры по сбору и использованию лекарственных трав. В 1942 году работа аптечного отдела была реорганизована после его возвращения в Москву, что позволило расширить снабжение регионов медикаментами, выпустить новый рецептурный справочник и наладить номенклатурный учёт дефицитных препаратов [5, 10, 12].

В этих условиях лекарственные растения стали основой для производства множества медицинских препаратов. Их использование позволило восполнить нехватку синтетических медикаментов, особенно в полевых условиях. Одним из примеров успешного применения растительного сырья стала разработка и внедрение в медицинскую практику препаратов на основе корня алтея, который использовался как отхаркивающее средство, а также дубовой коры, обладавшей вяжущими и антисептическими свойствами. В ряде регионов были организованы небольшие лаборатории по переработке растительного сырья в порошки, настои и отвары, что позволило оперативно обеспечивать госпитали и санитарные части необходимыми лекарствами.

Было налажено производство витамина С из шиповника и хвои, но первые партии оказались горькими. Только после внедрения метода диализа, разработанного Центральной аптечной научно-исследовательской лабораторией, удалось устранить этот недостаток. Ботанический институт АН СССР совместно с военными врачами разработал ряд медицинских препаратов. Для лечения гнойных ран использовали пихтовый бальзам, зверобойное масло, фитонциды лука и чеснока, а также настои календулы. Дефицит перевязочных материалов компенсировался применением торфяного мха – сфагнума, а вместо пластыря использовали тонкий слой бересты. Кроме того, были открыты новые витаминоносные растения, такие как ярутка полевая и портулак. В условиях острого дефицита медикаментов активно применялись народные методы лечения: крапиву использовали для остановки кровотечения, настоей почек тополя – для обработки ран, а раны присыпали порошком березовой коры и хвоща полевого [5, 10, 14].

Для лечения ожогов применяли соки моркови, крыжовника и смородины, а бактерицидные свойства меда в сочетании с рыбьим жиром использовали для лечения трофических язв, гангрены и ожогов. В хирургии при отсутствии мыла руки обрабатывали раствором зольного порошка, а наркоз заменяли настойками валерианы, ландыша или крепким спиртом. От гастритов применяли отвар березовых почек, а настоей березовых листьев употребляли как общеукрепляющее средство. Деготь из березовой коры смешивали со свиным жиром и применяли для лечения кожных заболеваний, в частности чесотки.

Особое внимание уделялось вопросам витаминизации питания, поскольку военные лишения и неполноценное питание способствовали развитию авитаминозов. В госпиталях и населённых пунктах широко применялись настои из хвои сосны, пихты и можжевельника, обеспечивающие суточную норму витамина

С, весной использовали березовый сок. В Сталинградской области для витаминизации рациона использовались листья люцерны [5, 10, 14].

В ряде научных учреждений проводились исследования по выделению биоактивных веществ из местных растений, ранее не использовавшихся в медицине. Например, в ходе работы ботанических садов и научных лабораторий изучались возможности применения экстрактов полыни, багульника, родиолы розовой, левзеи и заманихи высокой. Эти растения показали значительный потенциал в качестве иммуностимуляторов, адаптогенов и противовоспалительных средств [1, 3].

В качестве растительных заменителей традиционных лекарственных средств использовали эризимум (желтушник) вместо строфанта, который применялся в кардиологической практике для лечения сердечной недостаточности. Сенегу, использовавшуюся при лечении заболеваний дыхательных путей, заменили синюхой голубой, которая также имела выраженный отхаркивающий эффект. Валериану, применявшуюся как успокоительное, частично заменяли пустырником, который, согласно исследованиям, обладал аналогичным седативным действием и даже превосходил валериану по продолжительности эффекта [1, 3].

Производство лекарственных средств на основе растительного сырья было налажено на фармацевтических заводах, таких как Томский фармзавод. Здесь перерабатывали белену, калину, водяной перец и кровохлебку, создавая препараты, которые поступали в медицинские учреждения страны, включая госпитали, полевые лазареты и санитарные части фронтовых соединений. Также на базе завода было организовано производство настоек и экстрактов на спиртовой основе, что позволяло сохранять и транспортировать лекарственные средства в условиях ограниченного доступа к традиционным медикаментам [7, 8].

В Куйбышевской области значительная часть производства базировалась на использовании регионального сырья, что позволило снизить зависимость от внешних поставок. Здесь велась активная работа по сбору и переработке лекарственного сырья, в том числе валерианы, зверобоя, девясила и корня солодки. Эти растения использовались для создания настоек, мазей и порошков, широко применявшихся в лечении инфекционных заболеваний, нарушений сердечно-сосудистой системы и нервных расстройств [5].

Также проводились исследования по усовершенствованию технологий хранения лекарственных растений, что позволило создать запас фитопрепаратов на несколько месяцев вперед. Важную роль в этом процессе играли ботанические

сады, где разрабатывались методы сушки, экстракции и переработки лекарственного сырья, пригодного для длительного хранения.

В результате принятых мер производство лекарственных средств на основе растительного сырья достигло рекордных объемов. В 1941-1944 годах было заготовлено более 4500 тонн лекарственных растений, значительно расширена номенклатура препаратов. Эти меры не только помогли справиться с дефицитом медикаментов, но и заложили основу для дальнейшего развития отечественной фитотерапии и фармацевтики [3, 15].

С окончанием войны работы по заготовке лекарственного сырья не прекратились. Важность сбора растений сохранялась и после окончания боевых действий. На втором совещании работников аптек Сталинградской области в 1945 году было отмечено, что сбор лекарственного сырья остаётся важной государственной задачей [6].

Таким образом, масштабная мобилизация ресурсов для заготовки лекарственного растительного сырья в годы Великой Отечественной войны сыграла важнейшую роль в обеспечении медицинской помощи как на фронте, так и в тылу. Однако столь интенсивное использование дикорастущих ресурсов неизбежно ставит вопрос об экологических последствиях этой деятельности.

В годы войны заготовка лекарственного растительного сырья осуществлялась на обширных территориях, охватывающих различные природно-климатические зоны Советского Союза. Несмотря на масштабность этих мероприятий, на сегодняшний день затруднительно провести достоверную оценку их воздействия на состояние природных популяций лекарственных растений. Отсутствие систематических учётов и мониторинга в тот период, а также последующее отсутствие организации особо охраняемых природных территорий на участках интенсивного сбора, затрудняют ретроспективный экологический анализ. Вместе с тем можно предположить, что значительное количество заготовок проводилось на малоосвоенных и обширных территориях, что частично могло нивелировать возможные негативные последствия.

Заключение. Благодаря этим усилиям советская фармацевтическая промышленность смогла частично компенсировать нехватку традиционных медикаментов и обеспечить фронт и тыл необходимыми лекарственными средствами на основе природного сырья. Катастрофическая нехватка медикаментов, вызванная потерей фармацевтических заводов, разрушением аптек и прекращением импорта, вынудила государство мобилизовать природные ресурсы. Широкомасштабное привлечение растительных ресурсов, поддержка

научных исследований и активное привлечение населения к заготовке фитопрепаратов сыграли ключевую роль в сохранении здоровья советских граждан в условиях военного времени.

Исследовательские работы позволили выявить растительные аналоги дефицитных медикаментов, а фармацевтические предприятия оперативно наладили производство препаратов на их основе. Заготовка и переработка лекарственного сырья стали важнейшими государственными задачами.

Опыт военных лет продемонстрировал эффективность и значимость фитотерапии в экстремальных условиях. Этот период стал отправной точкой для новых исследований в области ботаники, фармакологии и агротехнологий, что способствовало дальнейшему развитию производства лекарственного сырья в послевоенные годы. Разработанные в военные годы технологии заготовки, переработки и применения фитопрепаратов легли в основу советской фармацевтической науки и используются по сей день.

Таким образом, мобилизация природных ресурсов, государственная поддержка и научный подход к изучению лекарственных растений в годы войны стали одним из важнейших факторов медицинского обеспечения СССР. Этот исторический опыт подтвердил необходимость развития фитотерапии как стратегически значимого направления в здравоохранении, способного обеспечить устойчивость системы медицинского снабжения в условиях кризиса.

Список литературы:

1. Винокуров В.Г., Винокуров В.Г., Белостоцкий А.В., Алленов А.М., Винокурова А.С. Медицинское и фармацевтическое обеспечение тыловых лечебных учреждений в годы Великой Отечественной войны // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 3-3. – С. 342–348. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=6541>.
2. Система лекарственного обеспечения в годы Великой Отечественной войны // Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. – 2019. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44597061>.
3. Хисамутдинова Р.Р., Шаповаленко Е.М. Заготовка лекарственных растений Главным аптечным управлением Наркомздрава РСФСР в период Великой Отечественной войны // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. – 2017. – № 1(21). – С. 187–198.
4. В память о Великой войне: растения для выживания // Сайт Центрального дома народного творчества имени В.Д. Поленова. – 2015. URL: <https://cdnito.tomsk.ru/2015/04/15/>.
5. Горшенин А.В., Рудерман В.И. Заготовка лекарственных растений фармацевтической отраслью Куйбышевской области в годы Великой Отечественной войны // Самарский научный вестник. – 2021. – Т. 10, № 1. – С. 253–257. – DOI 10.17816/snv2021101211.

6. Булюлина Е.В. Заготовка лекарственных растений в Сталинградской области в 1941–1945 гг. // Заметки ученого. – 2021. – № 4-1. – С. 103–109.
7. Сорокин А.Н. Организация науки и развитие научных исследований в западносибирском научно-образовательном комплексе в годы Великой Отечественной войны (на примере Томского комитета ученых) // Вестник Томского государственного университета. История. – 2014. – № 1(27). – С. 103–107.
8. Зленко К.В. Ботаники Томского государственного университета в годы Великой Отечественной войны // Библиотека журнала Русин. – 2015. – № 2(2). – С. 149–159. – DOI 10.17223/23451734/2/13.
9. Хрынова Т.Р. Ботанический сад Горьковского государственного университета в годы Великой Отечественной войны // Великая Отечественная война в истории народов Поволжья: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, Чебоксары, 16 мая 2024 года. – Чебоксары: ООО "Издательский дом "Среда", 2024. – С. 276–279.
10. Серебряный Р.С., Камельских Д.В. Деятельность аптечных учреждений в СССР в первый период Великой Отечественной войны // Ремедиум. – 2024. – Т. 28, № 2. – С. 196–201. – DOI 10.32687/1561-5936-2024-28-2-196-201.
11. Ладыгин С.И. Применение лекарственно-растительного сырья в годы Великой Отечественной войны // Некоторые вопросы истории военной медицины: сб. ст. – М., 1971. – С. 123–129.
12. Ивенский Я.Г. О внедрении лекарственных растений в лечебную практику и о роли аптечных работников в этом деле // Фармация. – 1945. – № 1. – С. 8–12.
13. Дергоусова Т.Г. Система лекарственного обеспечения в годы Великой Отечественной войны // Никто не забыт, ничто не забыто: роль СССР во второй мировой войне: сборник материалов всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Ростов-на-Дону, 10 сентября 2020 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный медицинский университет, 2020. – С. 204–210.
14. Карпенко И.В. Производство лекарств во время Великой Отечественной войны // Медицинская сестра. – 2015. – № 5. – С. 55–56.
15. Киселев М.Ю. Позиция советских ученых о роли ботаники в войне // Регионы России в военной истории страны: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Йошкар-Ола, 18–19 ноября 2020 года. Том Выпуск II. – Йошкар-Ола: Марийский научно-исследовательский институт языка, литературы и истории им. В.М. Васильева, 2020. – С. 155–161.

References:

1. Vinokurov VG, Vinokurov VG, Belostotskiy AV, Allenov AM, Vinokurova AS. Meditsinskoe i farmatsevticheskoe obespechenie tylovykh lechebnykh uchrezhdeniy v gody Velikoy Otechestvennoy voyny. Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy. 2015;(3-3):342–348. Available from: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=6541>.
2. Sistema lekarstvennogo obespecheniya v gody Velikoy Otechestvennoy voyny. Nauchnaya elektronaya biblioteka eLIBRARY.RU. 2019. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44597061>.

3. Khisamutdinova RR, Shapovalenko EM. Zagotovka lekarstvennykh rasteniy Glavnym aptechnym upravleniem Narkomzdrava RSFSR v period Velikoy Otechestvennoy voyny. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Elektronnyi nauchnyi zhurnal. 2017;(1(21)):187–198. EDN YHMDVH.
4. V pamyat' o Velikoy voyne: rasteniya dlya vyzhivaniya. Tsentral'nyi dom narodnogo tvorchestva im. VD Polenova. 2015. Available from: <https://cdnito.tomsk.ru/2015/04/15/...>
5. Gorshenin AV, Ruderman VI. Zagotovka lekarstvennykh rasteniy farmatsevticheskoy otraslyu Kuybyshevskoy oblasti v gody Velikoy Otechestvennoy voyny. Samarskii nauchnyi vestnik. 2021;10(1):253–257. doi:10.17816/snv2021101211.
6. Bulyulina EV. Zagotovka lekarstvennykh rasteniy v Stalingradskoy oblasti v 1941–1945 gg. Zametki uchenogo. 2021;(4-1):103–109.
7. Sorokin AN. Organizatsiya nauki i razvitie nauchnykh issledovaniy v zapadnosibirskom nauchno-obrazovatel'nom komplekse v gody Velikoy Otechestvennoy voyny (na primere Tomskogo komiteta uchenykh). Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Istoriya. 2014;(1(27)):103–107.
8. Zlenko KV. Botaniki Tomskogo gosudarstvennogo universiteta v gody Velikoy Otechestvennoy voyny. Biblioteka zhurnala Rusin. 2015;2(2):149–159. doi:10.17223/23451734/2/13.
9. Khrynova TR. Botanicheskiy sad Gorkovskogo gosudarstvennogo universiteta v gody Velikoy Otechestvennoy voyny. In: Velikaya Otechestvennaya voyna v istorii narodov Povolzh'ya: materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem; 2024 May 16; Cheboksary. Cheboksary: Izdatelskiy dom "Sreda"; 2024. p. 276–279.
10. Serebryany RS, Kamelskikh DV. Deyatel'nost' aptechnykh uchrezhdeniy v SSSR v pervyy period Velikoy Otechestvennoy voyny. Remedium. 2024;28(2):196–201. doi:10.32687/1561-5936-2024-28-2-196-201.
11. Ladygin SI. Primenenie lekarstvenno-rastitelnogo syr'ya v gody Velikoy Otechestvennoy voyny. In: Nekotorye voprosy istorii voennoy meditsiny: sbornik statey. Moscow; 1971. p. 123–129.
12. Ivenskiy YG. O vnedrenii lekarstvennykh rasteniy v lechebnuyu praktiku i o roli aptechnykh rabotnikov v etom dele. Farmatsiya. 1945;(1):8–12.
13. Dergousova TG. Sistema lekarstvennogo obespecheniya v gody Velikoy Otechestvennoy voyny. In: Nikto ne zabyt, nichego ne zabyto: rol' SSSR vo Vtoroy Mirovoy voyne: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem; 2020 Sep 10; Rostov-na-Donu. Rostov-na-Donu: Rostovskiy gosudarstvennyy meditsinskiy universitet; 2020. p. 204–210.
14. Karpenko IV. Proizvodstvo lekarstv vo vremya Velikoy Otechestvennoy voyny. Meditsinskaya sestra. 2015;(5):55–56.
15. Kiselev MYu. Pozitsiya sovetskikh uchenykh o roli botaniki v voyne. In: Regiony Rossii v voennoy istorii strany: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii; 2020 Nov 18–19; Yoshkar-Ola. Yoshkar-Ola: Mariyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut yazyka, literatury i istorii im. VM Vasileva; 2020. p. 155–161.

Поступила/Received: 12.05.2025

Принята в печать/Accepted: 04.06.2025

УДК 613.6:615.9

БИОПРОФИЛАКТИКА РЕПРОТОТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

Сутункова М.П.^{1,2}, Минигалиева И.А.¹, Гертан Н.А.¹, Петрунина Е.М.¹, Цыпушкина Е.Е.², Никогосян К.М.¹

¹ФБУН «Екатеринбургский медицинский – научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора, Екатеринбург, Россия

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, Екатеринбург, Россия

Охрана репродуктивного здоровья мужчин является актуальной проблемой, вследствие демографического спада населения в Российской Федерации. Одним из методов повышения устойчивости к вредному воздействию токсических веществ на репродуктивную систему является биопрофилактика.

Цель исследования – научное обоснование и экспериментальная апробация биопрофилактического комплекса, направленного на повышение устойчивости организма к негативному воздействию серной кислоты на мужскую репродуктивную систему.

Материалы и методы. Профилактический эффект биопрофилактического комплекса (БПК), направленный на снижение токсического действия серной кислоты, изучался в эксперименте на аутбредных белых крысах-самцах по изменению концентрации тестостерона в сыворотке крови, морфологии сперматозоидов и гистоморфометрии тестикул. Крысы-самцы были распределены на 4 группы по 8 животных: контрольная группа – «Контроль»; экспонированные серной кислотой (H_2SO_4) – « H_2SO_4 »; экспонированные серной кислотой и получающие специальную диету, содержащую биопрофилактический комплекс – « H_2SO_4 + БПК»; получающие специальную диету, содержащую БПК – «БПК». Раствор H_2SO_4 (C=1,2 %) вводился внутривентрикулярно в объеме 0,5 мл/крысу 3 раза в неделю, на протяжении 4 недель крысам из групп « H_2SO_4 » и « H_2SO_4 + БПК». Животные из группы контроля получали тот же объем питьевой воды. БПК давался вместе с водой и кормом группам «БПК» и « H_2SO_4 + БПК».

Результаты. Исследование показало, что раствор серной кислоты 1,2% обладает репротоксичными свойствами, снижая уровень тестостерона и ухудшая качество спермы, увеличивая долю аномальных сперматозоидов. Гистоморфологических изменений при этом зафиксировано не было. Прием БПК повышал уровень тестостерона и значительно уменьшал долю аномальных сперматозоидов, что

говорит об эффективности комплекса и позволяет предполагать снижение рисков для мужского репродуктивного здоровья работающих с соответствующими вредными условиями труда при его применении.

Ключевые слова: серная кислота, репротоксичность, мужской пол, биопрофилактика, *in vivo*, тестостерон, аномальные формы сперматозоидов, гистологическое исследование тестикул.

Для цитирования: Сутункова М.П., Минигалиева И.А., Гертан Н.А., Петрунина Е.М., Цыпушкина Е.Е., Никогосян К.М. Биопрофилактика репрототоксического действия серной кислоты (экспериментальное исследование). Медицина труда и экология человека. 2025; 2: 124-137.

Для корреспонденции: Гертан Наталья Александровна – младший научный сотрудник ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, e-mail: gertan00@mail.ru.

Финансирование исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10208>

BIOPROPHYLLAXIS OF THE REPROTOXIC EFFECT OF SULFURIC ACID: AN EXPERIMENTAL STUDY

Sutunkova M.P.^{1,2}, Minigalieva I.A.¹, Gertan N.A.¹, Petrunina E.M.¹, Tsypushkina E.E.², Nikogosyan K.M.¹

¹Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, Russia

²Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

Protection of men's reproductive health is a pressing issue due to the demographic decline of the population in the Russian Federation. One of the methods of increasing resistance to harmful effects on reproductive system indicators, is bioprophylaxis.

The purpose of the study was to test a bioprophylactic complex (BPC) designed to increase the resistance of an organism to adverse effects of sulfuric acid on male reproductive system.

Materials and methods. The BPC protective effect was studied in an experiment on outbred albino male rats by the change in serum testosterone levels, morphology of spermatozoa, and histomorphometry of the testicles. Male rats were divided into four groups of eight animals each: (1) the control group, (2) the sulfuric acid

exposure group, (3) the group exposed to sulfuric acid and receiving a special diet containing the BPC, and (4) the reference group receiving the BPC with feed. A 1.2 % H₂SO₄ solution in the volume of 0.5 mL per rat thrice a week for four weeks was administered intragastrically to the rodents from the second and third groups. The control animals received the same volume of drinking water. The BPC was given with feed and drink to the third and fourth groups.

Results. The study showed that a 1.2 % sulfuric acid solution exerted reprotoxic effects by reducing testosterone levels, worsening sperm counts, and increasing the proportion of abnormal spermatozoa. No histomorphological changes were registered. Administration of the bioprophylactic complex increased testosterone levels and reduced the proportion of abnormal spermatozoa significantly, thus indicating the efficacy of the complex and allowing us to expect male reproductive health risk reduction in the workers occupationally exposed to sulfuric acid.

Keywords: sulfuric acid, reproductive toxicity, male sex, bioprophylaxis, in vivo, testosterone, abnormal spermatozoa, histological examination of testicles.

For citation: Sutunkova M.P., Minigalieva I.A., Gertan N.A., Petrunina E.M., Tsypushkina E.E., Nikogosyan K.M. Bioprophylaxis of the reprotoxic effects of sulfuric acid (experimental study). *Occupational Medicine and Human Ecology*. 2025; 2: 124–137.

For correspondence: : Natalya A. Gertan, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Junior Researcher, gertan00@mail.ru.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10208>

Влияние вредных факторов производственной среды является одной из ключевых детерминант здоровья мужского населения России. Охрана репродуктивного здоровья мужчин, работающих на различных производствах, является актуальной проблемой, вследствие демографического спада населения в Российской Федерации. Согласно данным единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) за последние 10 лет суммарный коэффициент рождаемости снизился с 1,7 в 2013г до 1,41 в 2023¹

Обращаясь к причинам нарушений репродуктивной функции у мужчин важно отметить, что имеют место быть как внутренние факторы (генетические, эндокринные, анатомические и др.), так и факторы внешней среды (вредные привычки, условия труда, условия проживания и др.) [1], в том числе химические.

¹ Суммарный коэффициент рождаемости // Единая межведомственная информационно-статистическая система [Официальный интернет-ресурс] 2024. URL: <https://fedstat.ru/indicator/31517>.

Известно, что соединения серы, загрязняющие воздух окружающей среды, оказывают репротоксическое действие на мужчин [2], а работники промышленных предприятий подвергаются ещё большему воздействию вредных веществ по сравнению с остальным населением. Серная кислота широко используется в промышленности самостоятельно (гидрометаллургия, электролиз) и может быть побочным продуктом некоторых технологических процессов (пирометаллургия меди).

Одним из методов повышения устойчивости к вредному воздействию токсических веществ на репродуктивную систему, является применение научно-обоснованного и экспериментально-апробированного комплекса биопротекторов. Учитывая наш предыдущий опыт использования биопрофилактических комплексов (БПК) [3] и опираясь на литературные данные, мы разработали БПК для профилактики вредного воздействия серной кислоты.

Таким образом, **целью данного исследования** являлись научное обоснование и экспериментальная апробация биопрофилактического комплекса, направленного на повышение устойчивости организма к негативному воздействию серной кислоты на мужскую репродуктивную систему.

Материалы и методы. Эксперимент был проведен на аутбредных белых крысах-самцах в возрасте 12-14 недель на начало эксперимента весом 260-340 г. Животные содержались в помещении вивария при автоматическом световом режиме «день-ночь» (с наличием барьерной среды – воздушный шлюз), при стандартных и контролируемых условиях микроклимата: средняя температура воздуха 16-22°C при относительной влажности воздуха 40-70 %. Режим питания и питьевой режим организован в свободном доступе для животных. Исследование было одобрено Локальным этическим комитетом ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора протокол № 4 от 05.07.2024 года.

Крысы-самцы были распределены на 4 группы по 8 животных: контрольная группа – «Контроль»; экспонированные серной кислотой (H_2SO_4) – « H_2SO_4 »; экспонированные серной кислотой и получающие специальную диету, содержащую БПК – « H_2SO_4 + БПК»; получающие специальную диету, содержащую БПК – «БПК».

Раствор H_2SO_4 (C=1,2 %) вводился внутривентрикулярно в объёме 0,5 мл/крысу 3 раза в неделю, на протяжении 4 недель крысам из группы « H_2SO_4 » и « H_2SO_4 + БПК». Животные из групп контроля вместо этого получали питьевую воду. БПК давался вместе с водой и кормом группам «БПК» и « H_2SO_4 + БПК». В состав БПК входили: вода минеральная с высоким содержанием бикарбонатов (Ессентуки 17², 4,9-6,5 мг), глутамат натрия (1,5% р-р вместо воды, примерно 160 мг/крысу), глицин (12,5 мг), цистеин (АЦЦ, 37,5 мг), витамин С (3,125 мг) и рутин (3,125 мг) (Аскорутин),

² Минеральная вода «Ессентуки № 17» содержит (мг/л):

Анионы: гидрокарбонат HCO_3^- — 4900–6500 сульфат SO_4^{2-} — менее 25 хлорид Cl^- — 1700–2800.

Катионы: кальций Ca^{2+} — 50–200 магний Mg^{2+} — менее 150, натрий + калий $Na^+ + K^+$ — 2700–4000.

Борная кислота H_3BO_3 — 40–90. Щелочное число pH 6,8

витамин А (ретинола ацетат р-р 3,44 %, 0,38 мг), витамин Е (0,125 мкг) и омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты (ω 3 ПНЖК) (Mirrolla рыбий жир с витамином Е, 16 мг), селен (Se Solgar, 6,25 мг). Минеральная вода Эссентуки 17 и глутамат натрия растворялись в питьевой воде. Раствор был доступен крысам всё время. Остальные компоненты БПК смешивались с кормом. Состав БПК был подобран исходя из литературных данных о патогенезе токсического действия H_2SO_4 и других соединений серы, защитно-компенсаторных механизмов организма и защитных эффектов биологически активных веществ.

Выведение животных из эксперимента проводилось путём быстрой декапитации со сбором крови и извлечением органов. Ограничениями исследования послужило использование животных одного вида.

Измерение концентрации уровня тестостерона проводилось методом иммуноферментного анализа (ИФА) согласно инструкции к набору.

Для подсчёта патологических форм сперматозоидов придатки и протоки семенников продольно разрезали в 15 мл физиологического раствора, перемешивали в течение 1-2 минут и полученную суспензию наносили пипеткой на предметное стекло. Препарат подсушивали на воздухе 2-3 часа и окрашивали по Паппенгейму. Изучение препаратов и их микрофотографирование осуществляли с использованием микроскопа Axio Lab.A1 (Carl Zeiss, Германия), оснащенного камерой.

Для гистологического и морфометрического исследований отбирались семенники и погружались в 10% забуференный формалин на 48 часов. Далее из материала вырезались кусочки толщиной 2-3 мм, которые проводились по набору изопропиловых спиртов, парафинизировались и заливались в парафиновые блоки. После этого на микротоме изготавливались срезы толщиной 3-4 мкм и окрашивались гематоксилином и эозином по традиционной методике. Изучение гистологических препаратов, их микрофотографирование и морфометрию проводили с использованием микроскопа Axio Lab.A1 (Carl Zeiss, Германия), оснащенного камерой, и компьютерной программы Zen 3.0.

Все данные были представлены в виде среднего значения $\pm$ стандартная ошибка среднего, если не указано иное. Статистическая значимость оценивалась с помощью t-критерия Стьюдента с использованием программного обеспечения Microsoft® Excel® MSO (16.0.12527.22286). Значения считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты. Наблюдалась статистически незначительная тенденция к снижению уровня концентрации тестостерона в группе « H_2SO_4 », при приеме БПК этот показатель приближался к контрольным значениям (рис.1).

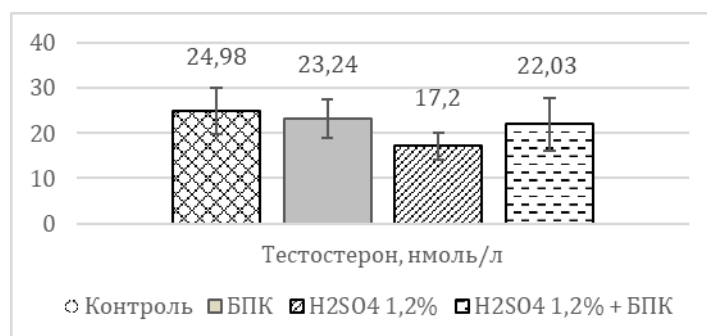


Рисунок 1. Концентрация тестостерона в крови крыс, подвергшихся подострому воздействию раствора серной кислоты и/или на фоне приема комплекса биопротекторов.

Figure 1. Testosterone concentration in the blood of rats exposed to subacute sulfuric acid solution and/or receiving a bioprotector complex.

Примечание. * – статистически значимая разница от контрольной группы ($p < 0,05$); «#» – статистически значимая разница от группы H₂SO₄ 1,2% ($p < 0,05$).

При воздействии серной кислоты было зафиксировано увеличение доли аномальных форм сперматозоидов (рис. 2) в 3,12 раз по сравнению с контролем, однако при добавлении БПК их доля существенно снизилась, хоть и не достигла контрольных значений (увеличена в 1,34 раз по сравнению с контролем). При контроле БПК доля аномальных сперматозоидов снижалась в 1,32 раз (рис. 3).

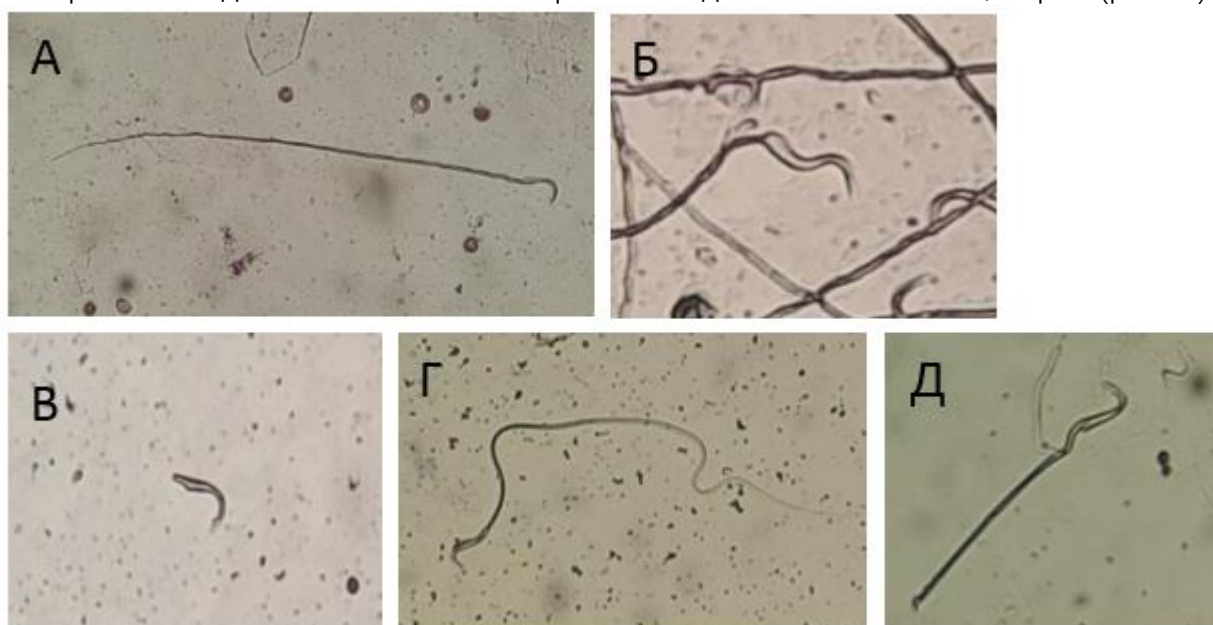


Рисунок 2. Нормальная форма сперматозоида (А) и аномальные формы: изменение угла наклона головки (Б), изолированная головка (В), изогнутый хвост (Г), сломанный хвост (Д).

Figure 2. Normal sperm morphology (A) and abnormal forms: altered head angle (B), isolated head (C), bent tail (D), broken tail (E).



Рисунок 3. Доля аномальных форм сперматозоидов крыс, подвергшихся подострому воздействию раствора серной кислоты и /или на фоне приема комплекса биопротекторов.

Figure 3. Proportion of abnormal sperm forms in rats exposed to subacute sulfuric acid solution and/or receiving a bioprotector complex.

Примечание. * – статистически значимая разница от контрольной группы ($p < 0,05$); «#» – статистически значимая разница от группы H₂SO₄ 1,2% ($p < 0,05$).

Среди патологий головки и шейки в группе H₂SO₄ 1,2% доля измененных углов наклона головки составляет 1,50 на 200 клеток, что выше, чем при контроле (0,00), доля же изолированных головок больше в 2,27 раза по сравнению с контрольной группой. Важно отметить, что доля изолированных головок значительно снижается при использовании БПК, в 4,13 раз. Также наблюдается снижение доли сперматозоидов с изменением угла наклона головки, но контрольные значения в этом случае достигнуты не были (рис. 4).

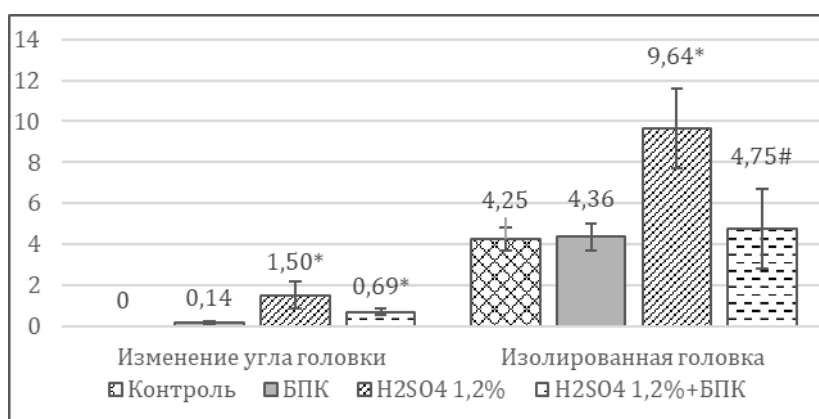


Рисунок 4. Доля аномальных форм головок и шеек сперматозоидов крыс, подвергшихся подострому воздействию раствора серной кислоты и /или на фоне приема комплекса биопротекторов.

Figure 4. Proportion of abnormal head and neck sperm forms in rats exposed to subacute sulfuric acid solution and/or receiving a bioprotector complex.

Примечание. * – статистически значимая разница от контрольной группы ($p < 0,05$); «#» – статистически значимая разница от группы H₂SO₄ 1,2% ($p < 0,05$).

Среди патологий хвоста: доля искривлённых хвостов в группе H_2SO_4 1,2% по сравнению с контролем увеличилась в 4,37 раза, но при использовании БПК уменьшилась в 3,33 раз по сравнению с группой H_2SO_4 1,2%; доля сломанных хвостов увеличилась в 8,67 раз в группе H_2SO_4 1,2%, однако в этом случае БПК не оказал положительного эффекта, хотя некоторая тенденция к снижению наблюдалась (рис. 5).

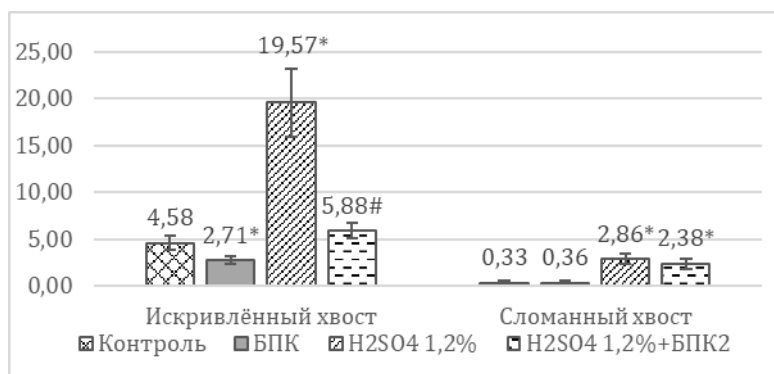


Рисунок 5. Доля аномальных форм хвостов сперматозоидов крыс, подвергшихся подострому воздействию раствора серной кислоты и /или на фоне приема комплекса биопротекторов.

Figure 5. Proportion of abnormal tail sperm forms in rats exposed to subacute sulfuric acid solution and/or receiving a bioprotector complex.

Примечание. * – статистически значимая разница от контрольной группы ($p < 0,05$); «#» – статистически значимая разница от группы H_2SO_4 1,2% ($p < 0,05$).

Показатели группы, получавшей только БПК, статистически не отличались от контрольных, кроме доли искривлённых хвостов сперматозоидов – она была достоверно снижена по сравнению с контролем в 1,69 раз.

Гистологическая картина тестикул крыс во всех группах животных не имеет значительных различий. Архитектоника ткани семенников не нарушена, по периферии они покрыты тонким слоем плотной оформленной фиброзной оболочки. Паренхима представлена извитыми семенными канальцами округлой или вытянутой эллипсовидной формой. По внутреннему контуру внешней оболочки канальцев располагается ровный слой миоидных клеток. Эпителио-сперматогенный слой не изменен. Стадии сперматогенеза в разных канальцах одного среза находятся на разном уровне от сперматогоний до сперматозоидов с длинными извитыми хвостиками и крючковидной головкой. Между канальцами определяются тонкие прослойки интерстициальной соединительной ткани, построенной из рыхлой соединительной ткани, в составе которой выявлены тонкостенные кровеносные сосуды с пустыми просветами, по периферии которых определяются немногочисленные, расположенные мелкими группами клетки Лейдига овальной или неправильной многоугольной формы, количество которых в одном поле зрения достигает 3-5 штук (рис. 6).

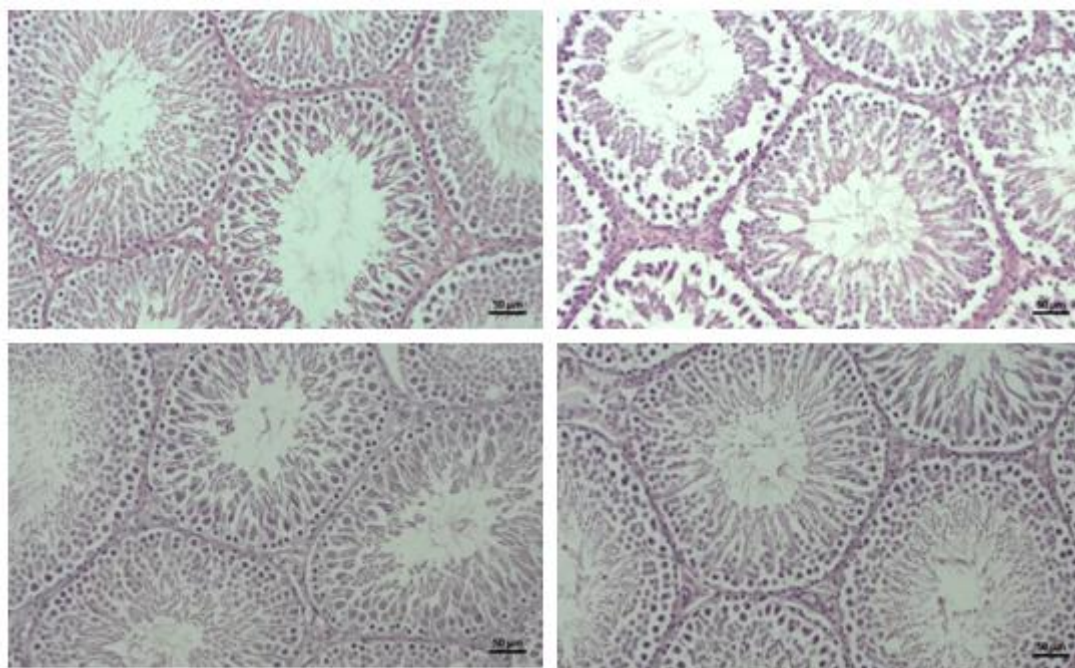


Рисунок 6. Семенник крысы. Окраска Гематоксилин-Эозин, увеличение 200х. А – контрольная группа; Б – группа «H₂SO₄ 1,2%»; В – группа «H₂SO₄ 1,2%+БПК»; Г – группа «БПК».

Figure 6. Rat testis. Hematoxylin and eosin staining, magnification $\times 200$. A – control group; Б – «H₂SO₄ 1,2%» group; В – «H₂SO₄ 1,2% + BPC» group; Г – «BPC» group.

Наряду с этим, были обнаружены негативные изменения морфометрических показателей тестикул крыс в группе «H₂SO₄», а именно – увеличение просвета и площади канальцев, сперматогонии при сравнении с контрольной группой, хотя достоверных различий между группами не было выявлено. На фоне приема БПК эти показатели снижались до контрольных значений (табл.).

Таблица. Морфометрические характеристики повреждения тестикул крыс, подвергавшихся затравке серной кислотой на фоне приёма БПК или без него ($X \pm Sx$).

Table. Morphometric characteristics of testicular damage in rats exposed to sulfuric acid with or without administration of the bioprotector complex ($X \pm Sx$).

Показатель, единица измерения	Группы животных			
	контроль	H ₂ SO ₄ 1,2%	H ₂ SO ₄ +БПК	БПК
Просвет канальца, мкм	291,39 $\pm$ 11,82	307,89 $\pm$ 8,65	298,63 $\pm$ 12,51	301,98 $\pm$ 11,44
Площадь просвета канальца, мкм ²	80324,12 $\pm$ 5454,95	82821,08 $\pm$ 4970,97	71660,19 $\pm$ 3420,02	80375,65 $\pm$ 5835,05
Сперматогонии, ед/каналец	60,83 $\pm$ 6,94	62,53 $\pm$ 1,22	60,50 $\pm$ 5,80	59,20 $\pm$ 6,18

Обсуждение. Репротоксичность серной кислоты изучена недостаточно, большинство исследований направлены на изучение других соединений серы и/или других токсических эффектов. В связи с этим для сопоставления наших результатов с результатами других исследователей, мы включали статьи, описывающие эффекты воздействия соединений серы, в том числе SO_2 и H_2S , которые попадая в организм в большинстве случаев гидратируются с образованием серной кислоты и окисляются до сульфитов, сульфатов, сульфидов и других соединений [4-7].

В проведенном нами экспериментальном исследовании концентрация тестостерона в крови крыс после воздействия на них серной кислотой 1,2 % снижалась незначительно, однако J. Zhang и др. наблюдали существенное снижение ее в сыворотке крови крыс Wistar (12 недель) после ингаляционного воздействия 26,2 мг/м³ (10 ppm) SO_2 в течение 4 часов в день ежедневно две недели [8]. Известно, что тестостерон играет большую роль в процессе сперматогенеза: он поддерживает целостность гемато-тестикулярного барьера, участвует в мейозе и влияет на высвобождение круглых сперматид из клеток Сертоли [9]. Недостаток тестостерона нарушает эти процессы и, помимо прочего, приводит к снижению качества спермы. При воздействии H_2SO_4 1,2% мы наблюдали увеличение доли аномальных форм сперматозоидов, что соотносится с результатами других исследователей. Например, X. Li и др. и J. Zhang и др. наблюдали значительное увеличение количества аномальных сперматозоидов у мышей C57BL/6 (6-недельного возраста), экспонированных ингаляционно к 5 мг/м³ (примерно 1,75 ppm) SO_2 непрерывно в течение 6 ч/сут в течение 30 дней (с 31-го по 60-й день эксперимента) [10] и у мышей Kunming (8 недель), получавших ингаляционно 10 ppm SO_2 по 3 ч/сут в течение 8 недель [11]. Однако гистоморфологических изменений тканей семенников нами не было обнаружено, что, вероятно, связано с длительностью эксперимента. Отсутствие значительных повреждений тканей семенников также можно объяснить компенсаторными возможностями организма. Так, к примеру, при повреждении клеток Лейдига сохраняется способность к синтезу тестостерона в меньшем объеме таким образом, что он способен выполнять некоторые свои функции в семенниках, при том, что в кровотоке наблюдается его снижение [12]. Другие же данные экспериментальных исследований показывают наличие гистологического повреждения семенников. Так, J. Zhang и др. зафиксировали уменьшение слоев сперматогенных клеток и локальные повреждения семявыносящих канальцев у крыс Wistar (12 недель) после ингаляционного воздействия 26,2 мг/м³ (10 ppm) SO_2 в течение 4 часов в день ежедневно две недели [8], а в другом своём исследовании J. Zhang и др. отмечали снижение количества сперматозоидов, увеличение просвета семявыносящих канальцев и нарушение структуры гемато-тестикулярного барьера у мышей Kunming (8 недель), получавших ингаляционно 10 ppm SO_2 по 3 ч/сут 8 недель [11].

В то же время применение БПК заметно снижало негативное воздействие серной кислоты на репродуктивную функцию самцов-крыс, о чем свидетельствует повышение либо нормализация ряда показателей. Так в группе животных «H₂SO₄+БПК» концентрация тестостерона была приближена к уровню контрольных значений (рис. 1). Доля патологически измененных форм сперматозоидов крыс статистически значимо снизилась при приеме БПК на фоне токсического действия серной кислоты.

Вероятно, такой эффект был обусловлен наличием в составе БПК ряда антиоксидантных агентов. Например, витамины С, А и Е, омега-3 ПНЖК, аминокислоты, а также рутин и селен, напрямую снижая АФК как один из видов антиоксидантов и эффективно повышая уровень эндогенных антиоксидантов (каталазы и глутатиона) в сперме, снижали долю аномальных сперматозоидов [13-27]

Добавление минеральной воды с высоким содержанием бикарбонатов послужило поддержкой естественной буферной системы организма. К тому же, электролитный баланс необходим для поддержания гомеостаза в организме. Известно, что нарушения электролитного баланса приводят к нарушению репродуктивной функции, а уровни Са и Mg в семенной жидкости, по данным Azab Sh.S. и др., показали положительную корреляцию с концентрацией сперматозоидов, их подвижностью и нормальной морфологией [28, 29].

Таким образом, все компоненты БПК могли в той или иной степени способствовать снижению количества сперматозоидов с аномальной формой.

Заключение. Показано, что серная кислота 1,2% при внутрижелудочном введении оказывает негативное влияние на репродуктивную систему самцов-крыс, ухудшая качество спермы за счёт увеличения доли аномальных сперматозоидов. Но значительных гистоморфологических изменений тестикул при этом не наблюдалось. Испытанный нами комплекс биопротекторов оказался эффективным средством снижения вредных эффектов репротоксического действия серной кислоты. Полученные результаты по некоторым морфологическим показателям и повышению уровня концентрации тестостерона практически достигали значений показателей контрольной группы.

Таким образом, научно обоснован и экспериментально успешно апробирован биопрофилактический комплекс, который значительно ослабил репротоксическое действие серной кислоты. Можно ожидать, что его применение позволит снизить риски для здоровья работающих с соответствующими вредными условиями труда.

Список литературы / References:

1. Литвинова Н.А., Лесников А.И., Толочко Т.А., Шмелев А.А. Эндогенные и экзогенные факторы, влияющие на мужскую фертильность. *Фундаментальная и клиническая медицина* 2021; 6(2): 124-135. DOI: <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2021-6-2-124-135>.
2. Liu Y., Zhou Y., Ma J., Bao W., Li J., Zhou T., et al. Inverse Association between Ambient Sulfur Dioxide Exposure and Semen Quality in Wuhan, China. *Environmental Science & Technology* 2017; 51(21): 12806-12814. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03289>.
3. Рябова Ю.В., Шабардина Л.В., Кескевич А.А., Минигалиева И.А., Сутункова М.П., Бутакова И.В., и др. Нейротоксические эффекты сочетанного действия хлорида кадмия и физической нагрузки и протекторное действие биопрофилактических средств. *Гигиена и санитария* 2024;103(2):165-171. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-2-165-171>.
4. Bhagora F.S. Acid Rain. *International Journal of Advanced Research in Arts, Science, Engineering & Management (IJARASEM)* 2022 September; 9(5): 2133-2144. ISSN: 2395-7852. URL: https://ijarasem.com/admin/img/30_Acid.pdf. (Дата обращения: 10.01.2025).
5. Логинов П.В., Николаев А.А. Молекулярно-физиологические аспекты токсического воздействия сероводородсодержащего газа на мужскую репродуктивную систему. *Астраханский медицинский журнал* 2009; 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/molekulyarno-fiziologicheskie-aspekty-toksicheskogo-vozdeystviya-serovodorodsoderzhaschego-gaza-na-muzhskuyu-reproduktivnuyu>. (Дата обращения: 10.01.2025).
6. Гальченко А.В. Сера: метаболическая роль, физиологическая потребность, проявления дефицита. *Микроэлементы в медицине* 2022; 23(4):14-17. DOI: <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2022-23-4-14-17>.
7. Amdur M.O. Toxicologic Appraisal of Particulate Matter, Oxides of Sulfur, and Sulfuric Acid. *Journal of the Air Pollution Control Association* 1969; 19(9): 638-646. DOI: <https://doi.org/10.1080/00022470.1969.10466535>.
8. Zhang J, Zheng F, Liang C, Zhu Y, Shi Y, Han Y, et al. Sulfur dioxide inhalation lowers sperm quality and alters testicular histology via increasing expression of CREM and ACT proteins in rat testes. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2016 Oct; 47:47-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2016.09.001>.
9. Dutta S., Sengupta P., Muhamad S. Male reproductive hormones and semen quality. *Asian Pacific Journal of Reproduction* 2019 September; 8(5): 189-194. DOI: <https://doi.org/10.4103/2305-0500.268132>.
10. Li X., Yi H., Wang H. Sulphur dioxide and arsenic affect male reproduction via interfering with spermatogenesis in mice. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2018; 165: 164-173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.109>.
11. Zhang J., Li Z., Qie M., Zheng R. Shetty J., Wang J. Sodium fluoride and sulfur dioxide affected male reproduction by disturbing blood-testis barrier in mice. *Food and Chemical Toxicology* 2016; 94: 103-111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.05.017>.
12. El-Magd M.A., Kahilo K.A., Nasr N.E., Kamal T., Shukry M., Saleh A.A. A potential mechanism associated with lead-induced testicular toxicity in rats. *Andrologia* 2017; 49(9):10.1111/and.12750. DOI: <https://doi.org/10.1111/and.12750>.

13. Raeeszadeh M., Karimfar B., Amiri A.A., Akbari A. Protective Effect of Nano-Vitamin C on Infertility due to Oxidative Stress Induced by Lead and Arsenic in Male Rats. *Journal of Chemistry* 2021; 2021:9589345. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/9589345>.
14. Akorede G.J., Ambali S.F., Hudu M.G., Olatunji A.O., Shittu M., Aremu A., et al. Protective effect of vitamin C on chronic carbamazepine-induced reproductive toxicity in male wistar rats. *Toxicology Reports* 2020; 7:269-276. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.01.017>.
15. Ogbuewu I.P., Okoro V.M., Mbajiorgu E.F., Mbajiorgu C.A. Supplementation of vitamin A to local chicken diets in tropical environment enhances seminal quality and blood testosterone concentration. *Tropical Animal Health and Production* 2020; 52:2101–2109. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02224-7>.
16. Yi H., Chen T., He G., Liu L., Zhao J., Guo K. et al. Retinoic acid mitigates the NSC319726-induced spermatogenesis dysfunction through cuproptosis-independent mechanisms. *Cell Biology and Toxicology* 2024; 40(26). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10565-024-09857-6>.
17. Mazini F., Abdollahifar M.A., Niknejad H., Manzari-Tavakoli A., Zhaleh M., Asadi-Golshan R., et al. Retinoic acid loaded with chitosan nanoparticles improves spermatogenesis in scrotal hyperthermia in mice. *Clinical and Experimental Reproductive Medicine* 2023 Dec; 50(4):230-243. DOI: <https://doi.org/10.5653/cerm.2023.06149>.
18. Malmir M., Mehranjani M.S., Faraji T., Noreini S.N. Antioxidant effect of Vitamin E on the male rat reproductive system by a high oral dose of Bisphenol-A. *Toxicology Research and Application* 2021;5. DOI: <https://doi.org/10.1177/23978473211005562>.
19. Ali A., Derar D.R., Alhassun T.M., Almundarij T.I. Effect of Zinc, Selenium, and Vitamin E Administration on Semen Quality and Fertility of Male Dromedary Camels with Impotentia Generandi. *Biological Trace Element Research* 2021; 199:1370–1376. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02276-8>.
20. Afeiche M.C., Gaskins A.J., Williams P.L., Toth T.L., Wright D.L., Tanrikut C., et al. Processed Meat Intake Is Unfavorably and Fish Intake Favorably Associated with Semen Quality Indicators among Men Attending a Fertility Clinic. *The Journal of Nutrition* 2014; 144(7):1091-1098. DOI: <https://doi.org/10.3945/jn.113.190173>.
21. Maleki Z., Farshad A., Rostamzadeh J. Protective effect of *Scrophularia striata* combined with trehalose and cysteine added to diluents on cryopreserved goat epididymal sperm. *Asian Pacific Journal of Reproduction* 2022; 11(2):93-99. DOI: <https://doi.org/10.4103/2305-0500.341116>.
22. Jannatifar R., Parivar K., Hayati Roodbari N., Nasr-Esfahani M.H. The Effect of N-Acetyl-Cysteine on NRF2 Antioxidant Gene Expression in Asthenoteratozoospermia Men: A Clinical Trial Study. *International Journal of Fertility and Sterility* 2020 Oct;14(3):171-175. DOI: <https://doi.org/10.22074/ijfs.2020.44411>.
23. Tang W., Wu J., Jin S., He L., Lin Q., Luo F., et al. Glutamate and aspartate alleviate testicular/epididymal oxidative stress by supporting antioxidant enzymes and immune defense systems in boars. *Science China Life Sciences* 2020; 63:116–124. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11427-018-9492-8>.
24. Sayed H., Zhang Q., Tang Y., Wang Y., Guo Y., Zhang J., et al. Alleviative Effect of Rutin on Zearalenone-Induced Reproductive Toxicity in Male Mice by Preventing Spermatogenic Cell Apoptosis and Modulating Gene Expression in the Hypothalamic–Pituitary–Gonadal Axis. *Toxins* 2024; 16(3):121. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins16030121>.

25. AbdElrazek D.A., Hassan N.H., Ibrahim M.A., Hassanen E.I., Farroh K.Y., Abass H.I. Ameliorative effects of rutin and rutin-loaded chitosan nanoparticles on testicular oxidative stress and histological damage induced by cyclophosphamide in male rats. *Food and Chemical Toxicology* 2024; 184: 114436. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.114436>.
26. Ozoani H., Ezejiofor A.N., Okolo K.O., Orish C.N., Cirovic A., Cirovic A., et al. Zinc and selenium attenuate quaternary heavy metal mixture-induced testicular damage via amplification of the antioxidant system, reduction in metal accumulation, inflammatory and apoptotic biomarkers. *Toxicological Research* 2023; 39:497–515. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43188-023-00187-z>.
27. Sabzian-Melei R., Zare-Shahneh A., Zhandi M., Yousefi A.R., Rafieian-Naeini H.R. Effects of dietary supplementation of different sources and levels of selenium on the semen quality and reproductive performance in aged broiler breeder roosters. *Poultry Science* 2022; 101(10):101908. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101908>.
28. Azab S.S., Mostafa T., Abougabal K.M., Tohamy A.A., Nabil N. Assessment of seminal calcium and magnesium levels in infertile men with varicocele before and after varicocelectomy. *Andrology* 2021; 9(6):1853-1858. DOI: <https://doi.org/10.1111/andr.13066>.
29. Unar A., Afridi H.I., Ali A., Ali N., Qureshi T. Determination of Electrolytes and Trace Elements in Biological Samples from Patients with Altered Semen Parameters: a Correlational Analysis. *Biological Trace Element Research* 2024. DOI: <https://doi.org/s12011-024-04281-7>.

Поступила/Received: 21.03.2025

Принята в печать/Accepted: 08.04.2025

УДК 613.63:577.2

ГЕНОТОКСИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ: ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК МЕТОДОМ ДНК-КОМЕТ У РАБОТНИКОВ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Якупова Т.Г.¹, Валова Я.В.¹, Репина Э.Ф.¹, Мухаммадиева Г.Ф.¹, Гизатуллина А.А.¹, Каримов Д.О.^{1,2}, Шарипова А.Р.³

¹ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», Уфа, Россия

²ФГБНУ «Национальный НИИ общественного здоровья имени Н.А. Семашко», Москва, Россия

³ФГКОУ ВО УЮИ МВД России, Уфа, Россия

Акриловая кислота (АК), активно применяемая в синтезе акрилатов, пластмасс, клеевых составов и иных полимерных материалов, представляет собой промышленный токсикант, обладающий потенциальной способностью вызывать повреждения генетического материала. Несмотря на обширное использование данного соединения, научные данные о его прямом воздействии на геномную стабильность человека остаются фрагментарными и противоречивыми. В условиях постоянного профессионального контакта с акриловой кислотой, особенно при ингаляционном и дермальном путях поступления, возрастает риск накопления субклинических нарушений целостности ДНК, что может иметь долговременные последствия для здоровья персонала, включая канцерогенез.

Особую значимость приобретает выявление ранних молекулярных маркеров нестабильности генома, предшествующих манифестации патологических процессов. В данном контексте метод одноэлектрофоретического анализа отдельных клеток — ДНК-комет — представляет собой чувствительный и высокоспецифичный инструмент для определения степени повреждения ДНК на доклиническом уровне.

Цель исследования: изучение степени генетической нестабильности у работников, занятых на производстве акриловой кислоты, с использованием метода ДНК-комет, а также выявление профессиональных факторов, ассоциированных с повышенным уровнем ДНК-повреждений.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие сотрудники одного из предприятий по производству акриловой кислоты (n=54), а также контрольная группа, не имевшая контакта с промышленными вредностями (n=30). Участники

основной группы были стратифицированы в зависимости от рода профессиональной деятельности на следующие подгруппы: аппаратчики синтеза, машинисты компрессоров, пробоотборщики и инженерно-технический персонал (ИТР).

Для оценки нарушений структуры ДНК в мононуклеарных клетках периферической крови использовался щелочной вариант метода ДНК-комет в соответствии с рекомендациями МР 4.2.0014–10. Препараты анализировали с применением флуоресцентного микроскопа Zeiss Axio Imager.D2. Количественная оценка уровня повреждений осуществлялась по следующим параметрам:

- средняя длина хвоста кометы (μm),
- процентное содержание ДНК в хвосте (%),
- момент хвоста кометы ($\mu\text{m}\cdot\%$).

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы Statistica 10.0. Применялись t-критерий Стьюдента и однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA).

Результаты. Сравнительный анализ показал тенденцию к увеличению степени повреждения ДНК у работников, контактирующих с акриловой кислотой: средняя длина хвоста ДНК-комет составила $107,2\pm 0,4$ мкм против $105,9\pm 0,6$ мкм в контрольной группе ($p=0,073$); процент ДНК в хвосте – $5,48\pm 0,03$ % против $5,45\pm 0,03$ % ($p=0,457$); хвостовой момент – $586,14\pm 4,54$ мкм·% против $580,4\pm 4,59$ мкм·% ($p=0,415$). При стратификации по профессиям установлено, что у аппаратчиков синтеза показатели повреждения ДНК были достоверно выше: длина хвоста – $108,52\pm 0,74$ мкм ($p=0,04$), процент ДНК в хвосте – $5,66\pm 0,04$ % ($p<0,001$), хвостовой момент – $612,53\pm 6,24$ мкм·% ($p=0,001$). Результаты указывают на наличие профессионально обусловленного генотоксического воздействия акриловой кислоты.

Заключение. Исследование выявило субклинические повреждения ДНК у работников, контактирующих с акриловой кислотой, особенно у аппаратчиков синтеза. Несмотря на отсутствие значимых различий между обобщёнными группами, стратификация показала достоверное повышение генотоксических маркеров у работников, активно вовлечённых в химические процессы. Метод ДНК-комет подтвердил эффективность в ранней диагностике молекулярных нарушений и может быть использован для биомониторинга на химических предприятиях.

Ключевые слова: акриловая кислота, генотоксичность, ДНК-кометный анализ, молекулярный биомониторинг, профессиональные риски, аппаратчики синтеза.

Для цитирования: Якупова Т.Г., Валова Я.В., Репина Э.Ф., Мухаммадиева Г.Ф., Гизатуллина А.А., Каримов Д.О., Шарипова А.Р. Генотоксические риски профессионального воздействия акриловой кислоты: оценка повреждений ДНК методом ДНК-комет у работников химического производства. Медицина труда и экология человека. 2025; 2: 138-153.

Для корреспонденции: Якупова Татьяна Георгиевна, младший научный сотрудник лаборатории генетики отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных, e-mail: tanya.kutlina.92@mail.ru.

Финансирование: Работа проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках отраслевой научно-исследовательской программы Роспотребнадзора «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровью и повышения качества жизни населения России» на 2021-2025 гг. п. 6.1.8, № гос. регистрации 121062100058-8.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии явных или потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10209>

GENOTOXIC RISKS OF OCCUPATIONAL EXPOSURE TO ACRYLIC ACID: ASSESSMENT OF DNA DAMAGE USING THE COMET ASSAY AMONG CHEMICAL WORKERS

Yakupova T.G.¹, Valova Ya.V.¹, Repina E.F.¹, Mukhammadieva G.F.¹, Gizatullina A.A.¹, Karimov D.O.^{1,2}, Sharipova A.R.³

¹Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia

²The Semashko National Research Institute of Public Health, Moscow, Russia

³FSBEI HB ULI MIA of Russian Federation, Ufa, Russia

Acrylic acid (AA), widely used in the synthesis of acrylates, plastics, adhesives, and other polymer materials, is an industrial toxicant with the potential to induce genetic material damage. Despite its broad application, scientific data on its direct impact on human genome stability remain fragmented and contradictory. Continuous occupational exposure to acrylic acid, particularly via inhalation and dermal absorption, increases the risk of accumulating subclinical DNA integrity disturbances, which may lead to long-term health consequences, including carcinogenesis.

The identification of early molecular markers of genome instability, preceding the manifestation of pathological processes, is of particular importance. In this context, the single-cell gel electrophoresis method – comet assay – serves as a sensitive and highly specific tool for detecting DNA damage at a preclinical level.

Objective of the study: To assess the extent of genetic instability among workers engaged in acrylic acid production using the comet assay method, and to identify occupational factors associated with elevated levels of DNA damage.

Materials and Methods. The study involved workers of an acrylic acid production facility (n=54) and a control group with no history of occupational exposure to industrial hazards (n=30). The main group was stratified by professional activity into the following subgroups: synthesis operators, compressor operators, sample collectors, and engineering-technical personnel (ETP).

To evaluate DNA strand breaks in peripheral blood mononuclear cells, the alkaline version of the comet assay was used in accordance with MP 4.2.0014–10 guidelines. Microscopic analysis was performed using a Zeiss Axio Imager.D2 fluorescence microscope. The level of DNA damage was quantitatively assessed using the following parameters:

- Mean comet tail length (μm),
- Percentage of DNA in the tail (%),
- Comet tail moment ($\mu\text{m}\cdot\%$).

Statistical analysis was carried out using Statistica 10.0. The Student's t-test and one-way analysis of variance (ANOVA) were applied.

Results. Comparative analysis revealed a trend toward increased DNA damage among workers exposed to acrylic acid: the mean comet tail length was $107,2\pm0,4\ \mu\text{m}$ versus $105,9\pm0,6\ \mu\text{m}$ in the control group ($p=0,073$); the percentage of DNA in the tail was $5,48\pm0,03\%$ compared to $5,45\pm0,03\%$ ($p=0,457$); and the comet tail moment was $586,14\pm4,54\ \mu\text{m}\cdot\%$ versus $580,4\pm4,59\ \mu\text{m}\cdot\%$ ($p=0,415$). Stratified analysis by occupational subgroup showed significantly higher DNA damage among synthesis operators: comet tail length – $108,52\pm0,74\ \mu\text{m}$ ($p=0,04$), DNA percentage in the tail – $5,66\pm0,04\%$ ($p<0,001$), and comet tail moment – $612,53\pm6,24\ \mu\text{m}\cdot\%$ ($p=0,001$). These results suggest the presence of occupation-related genotoxic effects of acrylic acid.

Conclusion. The study revealed subclinical DNA damage among workers exposed to acrylic acid, particularly among synthesis operators. Although no statistically significant differences were found in the aggregated data between the exposed and control groups, stratification by job function showed a significant increase in genotoxic markers among

those directly involved in chemical operations. The comet assay proved to be effective in the early detection of molecular alterations and can be recommended for biomonitoring genetic safety at chemical enterprises.

Keywords: acrylic acid, genotoxicity, comet assay, molecular biomonitoring, occupational risks, synthesis operators.

For citation: Yakupova T.G., Valova Ya.V., Repina E.F., Mukhammadieva G.F., Gizatullina A.A., Karimov D.O., Sharipova A.R. Genotoxic risks of occupational exposure to acrylic acid: assessment of DNA damage using the comet assay among chemical workers. *Occupational Health and Human Ecology*. 2025; 2: 138-153.

Correspondence: Tatyana G. Yakupova, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Department of Toxicology and Genetics with Experimental Clinic of Laboratory Animals, e-mail: tanya.kutlina.92@mail.ru.

Funding: This work was funded by a grant under the sectoral research program of Rospotrebnadzor «Scientific Justification of the National System for Ensuring Sanitary and Epidemiological Well-being, Risk Management for Health, and Improving the Quality of Life of the Russian Population» between 2021 and 2025, point 6.1.8, State Registration No. 121062100058-8.

Conflict of interest: the authors confirm that there are no known conflicts of interest associated with this publication.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10209>

Акриламид (АА) — водорастворимый виниловый мономер, широко применяемый в химической и перерабатывающей промышленности. Он используется как промежуточный продукт в синтезе полиакриламидов, которые находят применение в технологиях очистки сточных вод, нефтедобыче, горнорудной промышленности, бумажном и текстильном производстве, а также в строительстве (в том числе при закреплении грунтов и бурении туннелей) [1–3]. Несмотря на высокую технологическую значимость, акриламид представляет собой опасный промышленный токсикант, обладающий нейротоксическими, репродуктивными, генотоксическими и, вероятно, канцерогенными свойствами [4].

Международное агентство по изучению рака классифицировало акриламид как вещество группы 2А — вероятный канцероген для человека, на основании данных экспериментов на животных, показавших развитие опухолей при пероральном введении АА [5–7]. В организме человека акриламид метаболизируется в эпоксид

— глицидамид, обладающий доказанной способностью взаимодействовать с ДНК и вызывать мутагенные изменения [8].

Особую обеспокоенность вызывает профессиональное воздействие акриламида, в первую очередь в условиях химического производства и строительной индустрии. Воздействие возможно через ингаляцию паров, контакт с кожей и случайное проглатывание. Ретроспективные когортные и эпидемиологические исследования, включающие сотрудников предприятий по производству мономера акриламида, показали отдельные случаи нейротоксических эффектов, а также возможную ассоциацию с повышенной смертностью от рака поджелудочной железы при высоком кумулятивном воздействии [9–11]. Работники, подвергшиеся длительному профессиональному контакту с акриламидом, жаловались на периферическую невропатию, атаксию, кожные аномалии, головные боли и расстройства чувствительности [12].

Наиболее уязвимыми путями токсического воздействия акриламида признаны периферическая нервная система и система кроветворения. Однако вопрос о генотоксическом действии АА в условиях реального производственного контакта остаётся недостаточно изученным. При этом молекулярные маркеры генотоксичности могут быть ценным инструментом раннего выявления рисков для здоровья работников.

Одним из таких инструментов является метод ДНК-комет, позволяющий оценивать повреждения ДНК на уровне отдельных клеток в доклинических условиях. Его применение в мониторинге генотоксических воздействий при промышленном контакте позволяет объективно оценивать риски для генетической стабильности работников и может быть использовано как основа для профилактики отдалённых неблагоприятных эффектов.

Цель исследования: изучение степени генетической нестабильности у работников, занятых на производстве акриловой кислоты, с использованием метода ДНК-комет, а также выявление профессиональных факторов, ассоциированных с повышенным уровнем ДНК-повреждений.

Материалы и методы. Исследование было проведено на базе одного из действующих предприятий по производству акриловой кислоты. В исследование были включены 84 человека, из которых 54 составляли основную (экспонированную) группу, а 30 — контрольную. Контрольную группу формировали сотрудники, не имевшие профессионального контакта с химическими веществами,

в частности с акриловой кислотой и её производными, и сопоставимые по полу и возрасту с работниками основной группы.

Работники, входящие в основную группу, были стратифицированы в зависимости от рода выполняемой профессиональной деятельности, что позволило учитывать особенности потенциального воздействия. Были выделены следующие подгруппы:

- аппаратчики синтеза (наиболее тесно контактирующие с процессами переработки акриловой кислоты),
- машинисты компрессоров,
- пробоотборщики,
- инженерно-технический персонал (ИТР), выполняющий контролирующие и вспомогательные функции.

Для выявления генотоксического действия акриловой кислоты применялся метод ДНК-комет в щелочном варианте, позволяющий выявить одно- и двунитевые разрывы ДНК. Исследование проводилось в соответствии с методическими рекомендациями МР 4.2.0014–10 «Оценка генотоксических свойств химических веществ методом ДНК-комет *in vitro*».

Для анализа использовали мононуклеарные клетки периферической крови, выделенные стандартным методом градиентного центрифугирования с использованием фиколла.

После лизиса клеток и проведения электрофореза на щелочной агарозной подложке, препараты окрашивали интеркалирующим красителем с использованием флуоресцентного микроскопа Zeiss Axio Imager.D2 с цифровой регистрацией изображений.

Обработка микрофотографий и количественная оценка параметров комет проводилась с использованием программного обеспечения ImageJ (НИН, США).

Для количественной оценки повреждений ДНК использовались следующие показатели:

- средняя длина хвоста кометы (μm),
- процентное содержание ДНК в хвосте (%),
- хвостовой момент ($\mu\text{m} \cdot \%$).

Хвостовой момент представляет собой произведение длины хвоста и процентного содержания ДНК в нём и служит интегральным показателем тяжести повреждений.

Полученные данные были обработаны с использованием программного пакета Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США). Для сравнения групп применялись t-критерий

Стьюдента (при нормальном распределении) и однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим множественным сравнением средних. Статистическая значимость различий принималась при $p < 0,05$.

Этическое одобрение исследования было получено от локального этического комитета, все участники подписали информированное согласие на участие в исследовании и обработку биоматериала.

Результаты. Первичный сравнительный анализ между контрольной группой и работниками, задействованными в производстве акриловой кислоты, продемонстрировал незначительное увеличение степени повреждений ДНК у экспонированных сотрудников. Так, средняя длина хвоста ДНК-комет в группе работников составила $107,2 \pm 0,4$ мкм, в то время как в контрольной группе данный показатель был $105,9 \pm 0,6$ мкм (рис. 1). Несмотря на выявленную тенденцию к увеличению, статистическая значимость достигнута не была ($t = -1,81$; $p = 0,073$), что указывает на возможность ранних молекулярных изменений, не выходящих за пределы физиологической нормы при данной выборке.

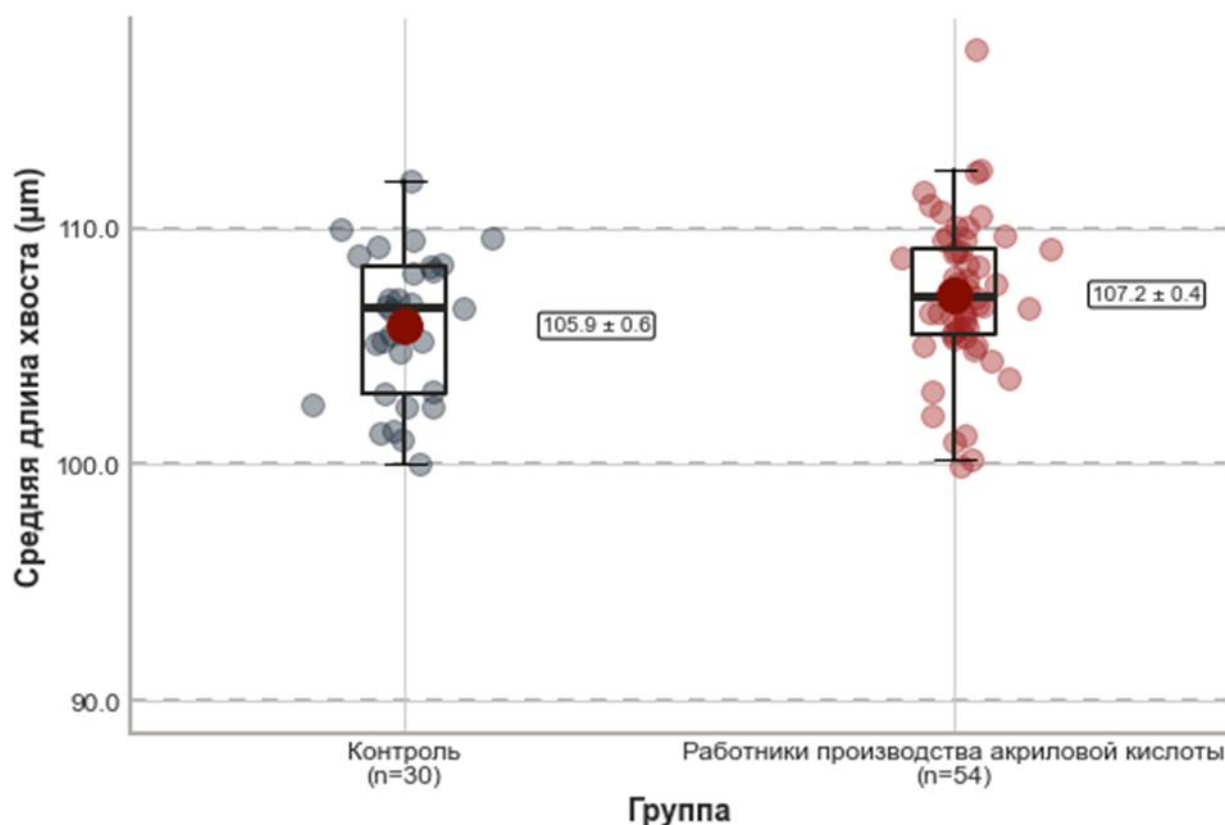


Рисунок 1. Средняя длина хвоста ДНК-комет у работников акрилового производства и в контрольной группе.

Figure 1. Mean comet tail length among workers exposed to acrylic acid and control group.

Аналогичная картина наблюдалась при оценке процентного содержания ДНК в хвосте комет: в контрольной группе этот показатель составил $5,45 \pm 0,03$ %, а среди работников — $5,48 \pm 0,03$ % (рис. 2). Различие не оказалось достоверным ($t = -0,75$; $p = 0,457$), что может отражать либо слабое воздействие, либо участие адапционно-компенсаторных механизмов, сглаживающих эффекты.

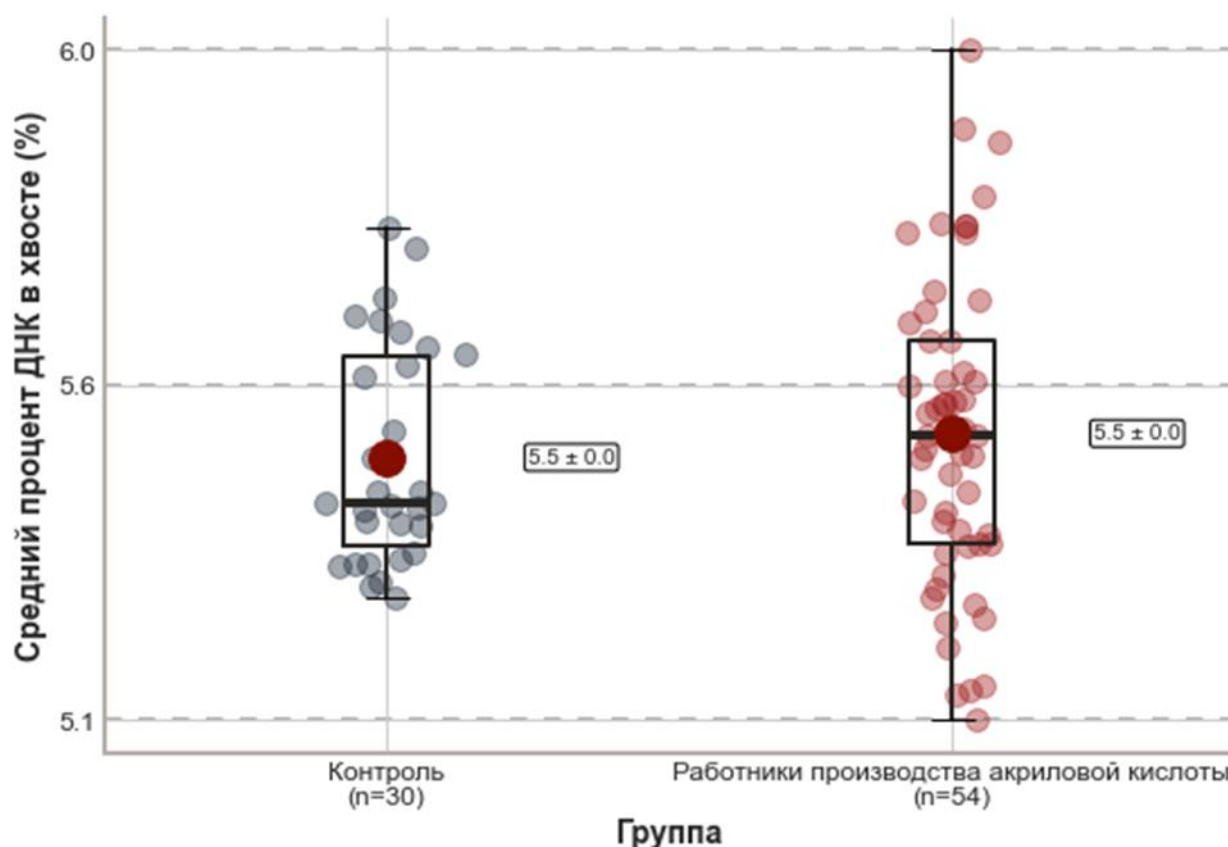


Рисунок 2. Процентное содержание ДНК в хвосте ДНК-комет у работников и контрольной группы.

Figure 2. Mean percentage of DNA in the comet tail in exposed and control groups.

Среднее значение хвостового момента, как интегрального показателя повреждения ДНК, также продемонстрировало небольшой рост у экспонированных сотрудников — $586,14 \pm 4,54$ мкм·% по сравнению с $580,40 \pm 4,59$ мкм·% в контроле, однако статистически значимой разницы не зафиксировано ($t = -0,82$; $p = 0,415$) (рис. 3). Несмотря на это, единонаправленная динамика по всем параметрам указывает на потенциальную чувствительность клеток крови к профессиональному воздействию акриловой кислоты, особенно при длительной экспозиции.

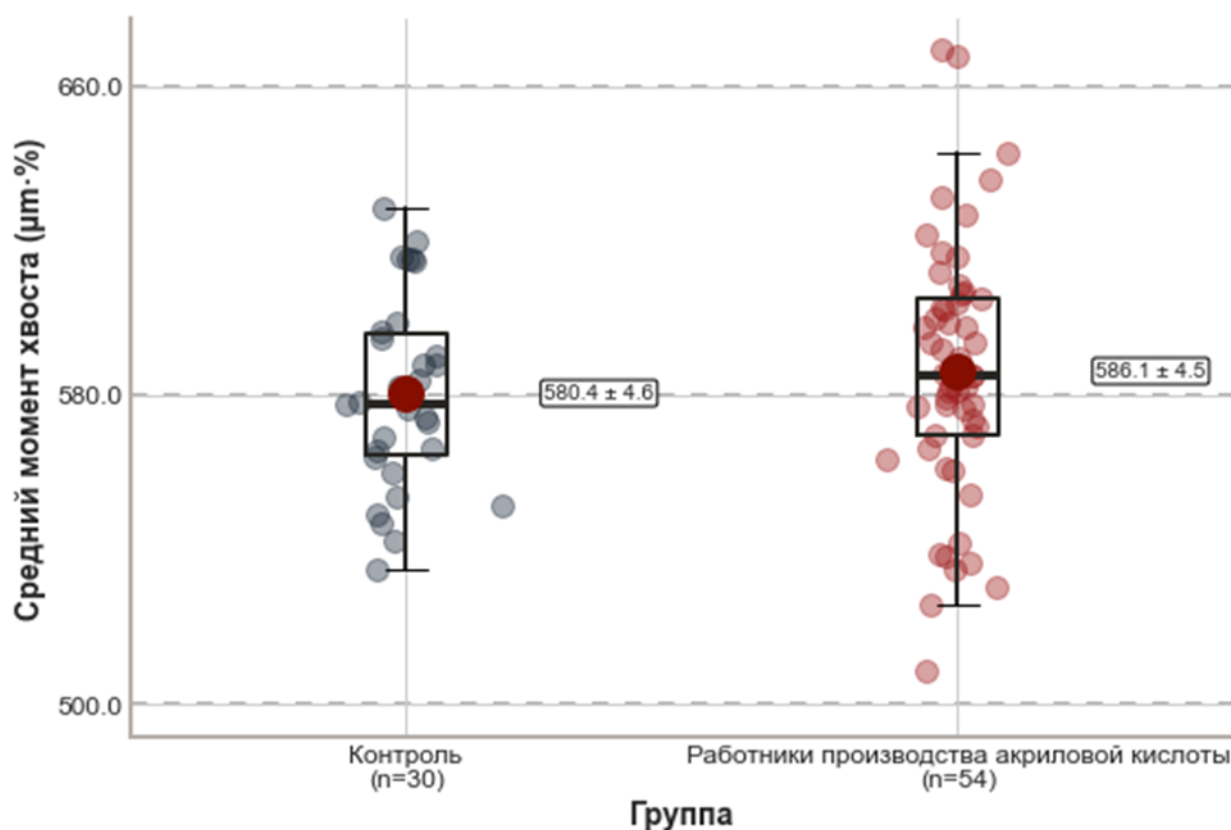


Рисунок 3. Средний момент хвоста ДНК-комет у работников акрилового производства и контрольной группы.

Figure 3. Mean comet tail moment among workers exposed to acrylic acid and control group.

С целью более детальной оценки связи между профессиональной специализацией и уровнем генетических нарушений, выборка работников была стратифицирована на четыре подгруппы: аппаратчики синтеза ($n=19$), машинисты компрессоров ($n=18$), пробоотборщики ($n=5$) и инженерно-технический персонал (ИТР, $n=12$).

Результаты однофакторного дисперсионного анализа выявили наличие значимых различий по длине хвоста комет между подгруппами ($F=2,56$; $p=0,045$) (рис. 4). При множественном сравнении средних значений достоверное превышение выявлено только у аппаратчиков синтеза по сравнению с контрольной группой ($108,52 \pm 0,74$ мкм против $105,88 \pm 0,57$ мкм, $p=0,04$). У остальных категорий работников статистически значимых отличий от контроля не зафиксировано ($p>0,05$), несмотря на небольшую вариабельность абсолютных значений.

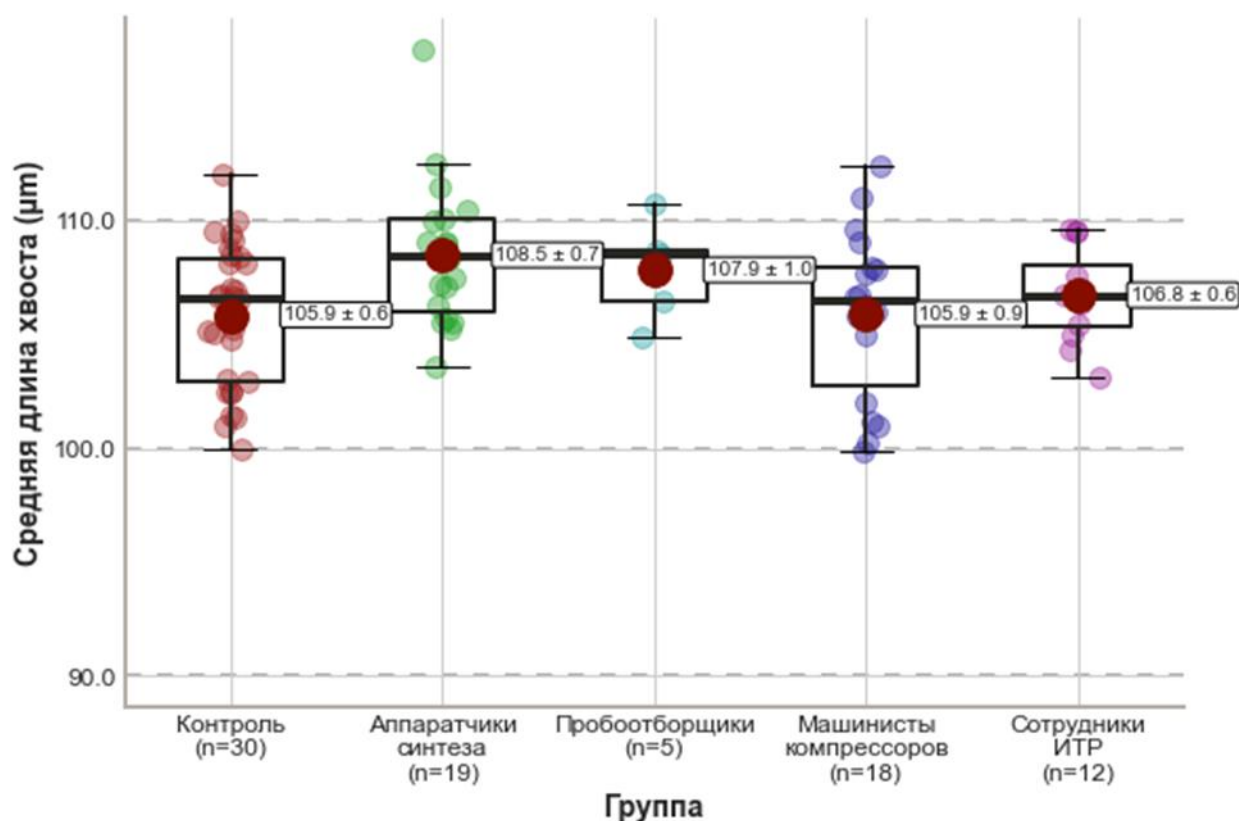


Рисунок 4. Средняя длина хвоста ДНК-комет у работников акрилового производства в зависимости от профессиональной принадлежности.

Figure 4. Mean comet tail length among acrylic acid workers depending on the occupational subgroup.

Более выраженная дифференциация была обнаружена при анализе процентного содержания ДНК в хвосте (рис. 5). Аппаратчики демонстрировали максимальные значения ($5,66 \pm 0,04$ %), достоверно превышающие показатели всех остальных групп, включая контроль ($5,45 \pm 0,03$ %; $p=0,001$), машинистов ($5,41 \pm 0,04$ %; $p=0,001$), пробоотборщиков ($5,26 \pm 0,07$ %; $p<0,001$) и ИТР ($5,41 \pm 0,04$ %; $p=0,001$). Взаимные различия между остальными подгруппами оказались статистически незначимыми.

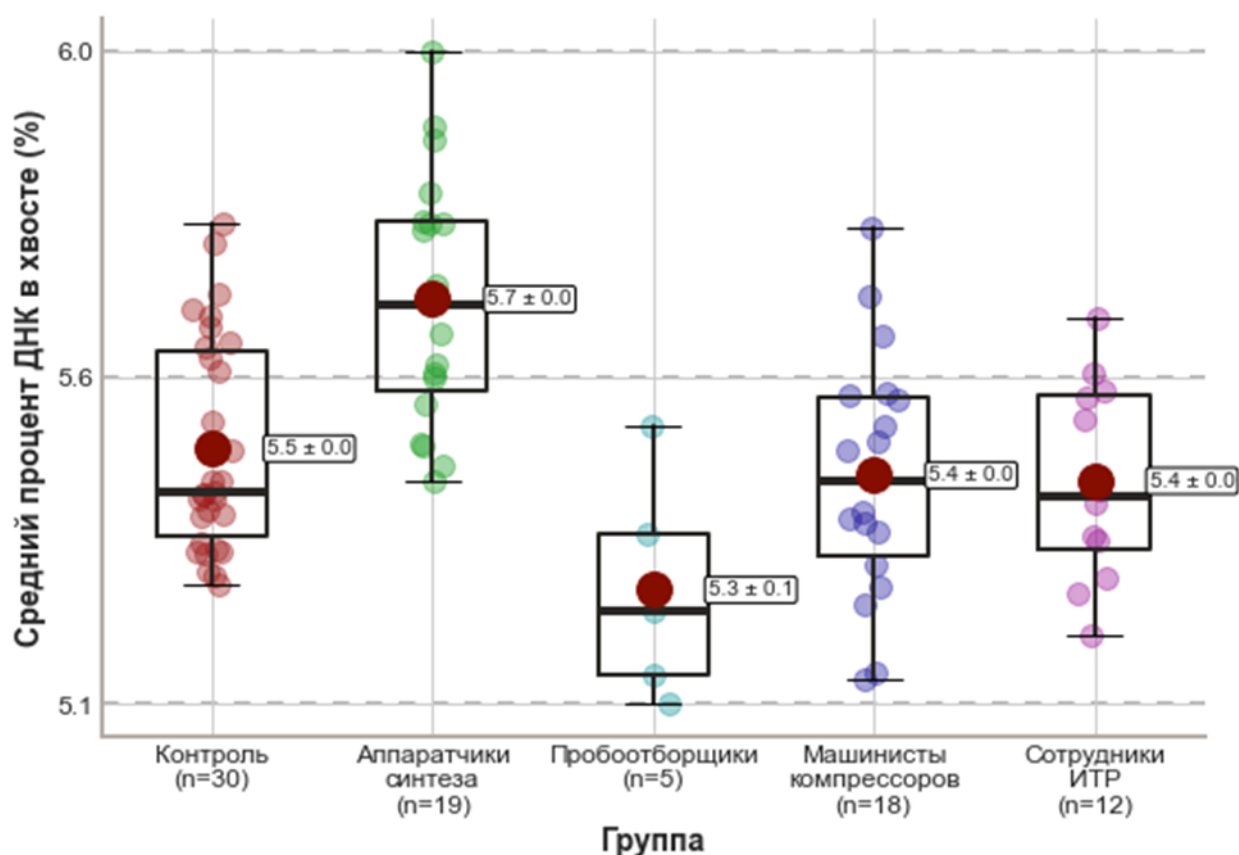


Рисунок 5. Процентное содержание ДНК в хвосте комет у работников различных профессиональных групп.

Figure 5. DNA percentage in comet tails across occupational subgroups.

Сходная тенденция прослеживалась и в показателях хвостового момента (рис. 6). Аппаратчики синтеза вновь продемонстрировали наибольшие значения ($612,53 \pm 6,24$ мкм·%), которые достоверно превышали таковые в контрольной группе ($580,40 \pm 4,59$ мкм·%; $p=0,001$), а также у машинистов ($571,23 \pm 7,29$ мкм·%; $p<0,001$), пробоотборщиков ($563,80 \pm 9,10$ мкм·%; $p=0,005$) и ИТР ($576,04 \pm 7,18$ мкм·%; $p=0,004$).

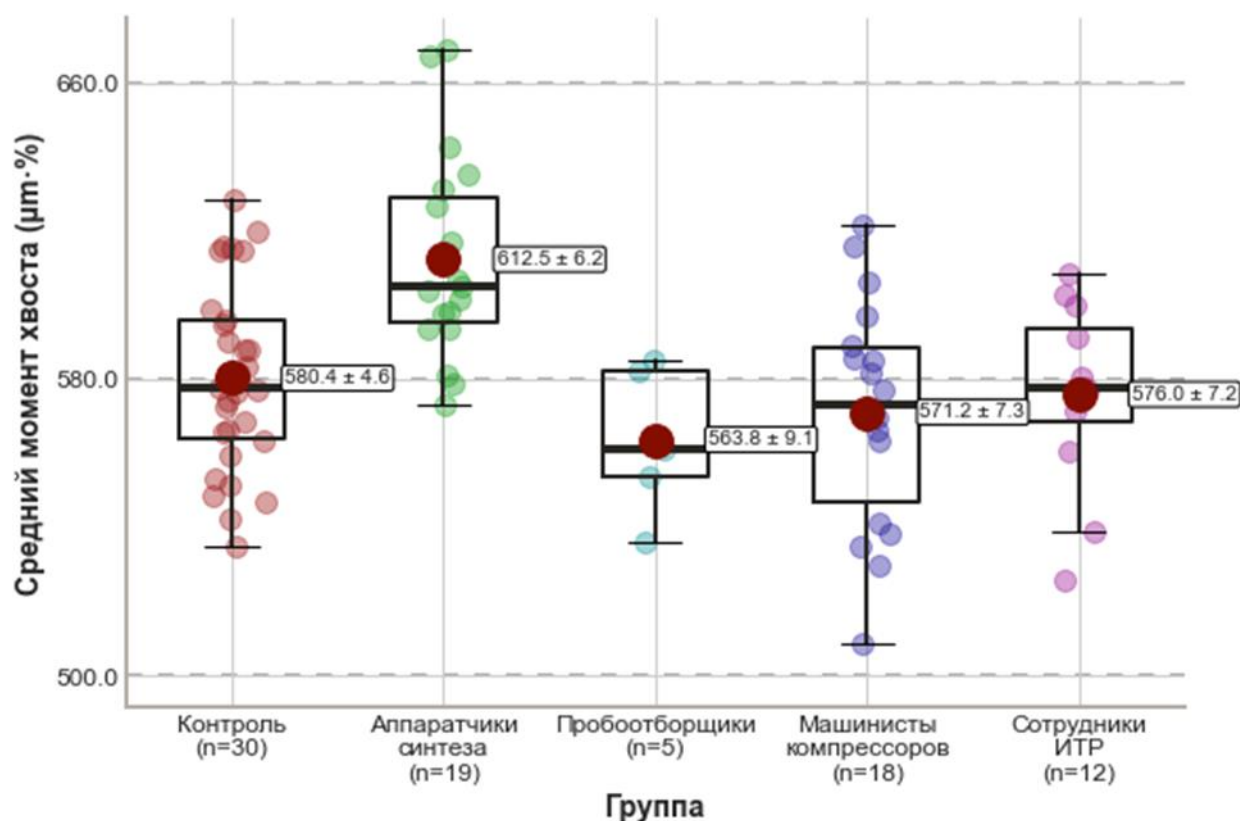


Рисунок 6. Средний хвостовой момент ДНК-комет у работников акрилового производства по профессиональным категориям.

Figure 6. Mean comet tail moment by occupational subgroup among acrylic acid production workers.

Таким образом, наибольшая степень повреждений ДНК зафиксирована у сотрудников, непосредственно задействованных в технологических стадиях с участием акриловой кислоты. Согласованность показателей подтверждает генотоксическое воздействие данного химического фактора при профессиональном контакте и подчёркивает актуальность дальнейших исследований, направленных на оценку долгосрочных последствий и разработку профилактических мер.

Обсуждение. Проведенное исследование выявило незначительное увеличение повреждений ДНК у работников, подвергающихся воздействию акриловой кислоты, по сравнению с контрольной группой. Это согласуется с данными исследований на животных, где хроническое воздействие акриламида приводило к повреждениям ДНК в различных тканях. Например, в исследовании на мышах было показано, что длительное воздействие акриламида вызывало повреждения ДНК в клетках репродуктивных органов [13].

Кроме того, в другом исследовании было установлено, что акриламид способен вызывать повреждения ДНК в различных органах мышей, включая селезёнку, почки, лёгкие и репродуктивные органы, особенно при комбинированном воздействии с другими факторами, такими как рентгеновское излучение [14].

Заключение. Настоящее исследование показало, что профессиональная деятельность, связанная с производством акриловой кислоты, сопряжена с риском индукции генетических повреждений у работников, особенно у аппаратчиков синтеза. Метод ДНК-комет продемонстрировал свою высокую чувствительность к выявлению ранних молекулярных нарушений в клетках периферической крови, и может быть рекомендован в качестве инструмента биомониторинга генетической безопасности на предприятиях химической промышленности.

Дальнейшие исследования с расширением выборки, стратификацией по стажу, экспозиционной нагрузке и применением мультибиомаркерного подхода позволят более точно определить критические условия возникновения и кумуляции генотоксических эффектов в условиях профессионального воздействия.

Список литературы:

1. Koszucka A., Nowak A., Nowak I., Motyl I. Acrylamide in human diet, its metabolism, toxicity, inactivation and the associated European Union legal regulations in food industry. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2020;60(10):1677–1692. doi:10.1080/10408398.2019.1588222.
2. Sarion C., Codină G.G., Dabija A. Acrylamide in bakery products: a review on health risks, legal regulations and strategies to reduce its formation. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021;18(8):4332. doi:10.3390/ijerph18084332.
3. Байгильдин С.С., Репина Э.Ф., Каримов Д.О., Бакиров А.Б., Гимадиева А.Р. Морфологические изменения в паренхиме печени крыс при подострой интоксикации акриламидом и возможность их профилактической коррекции. *Гигиена и санитария.* 2023;102(6):597–600. DOI:10.47470/0016-9900-2023-102-6-597-600.
4. Govindaraju I., Sana M., Chakraborty I., Rahman H.H., Biswas R., Mazumder N. Dietary acrylamide: a detailed review on formation, detection, mitigation, and its health impacts. *Foods.* 2024;13(4):556. doi:10.3390/foods13040556.
5. Максимова Ю.Г., Мочалова Е.М., Демаков В.А. Влияние акриламида на энергетическое состояние и выживаемость бактерий разных систематических групп. *Доклады РАН. Науки о жизни.* 2020;492(1):255–259. doi:10.31857/S2686738920030087.
6. Braun O., Coquery C., Kieffer J., Blondel F., Favero C., Besset C., Mesnager J., Voelker F., Delorme C., Matioszek D. Spotlight on the life cycle of acrylamide-based polymers supporting reductions in environmental footprint: review and recent advances. *Molecules.* 2021;27(1):42. doi:10.3390/molecules27010042.

7. Huchthausen J., Escher B.I., Grasse N., König M., Beil S., Henneberger L. Reactivity of acrylamides causes cytotoxicity and activates oxidative stress response. *Chem. Res. Toxicol.* 2023;36(8):1374–1385. doi:10.1021/acs.chemrestox.3c00115.
8. Kim Y.S., Kim Y.Y., Hwang H.J., Shin H.S. Validation of analytical methods for acrylic acid from various food products. *Food Sci. Biotechnol.* 2022;31(11):1377–1387. doi:10.1007/s10068-022-01131-x.
9. Scarselli A., Porzio A., Marinaccio A. Evaluation of occupational exposure risk experienced by a cohort of workers exposed to acrylonitrile using a register-based information system. *Ann. Work Expo. Health.* 2025; wxaf021. doi.org/10.1093/annweh/wxaf021.
10. Xie M., Lv X., Wang K., Zhou Y., Lin X. Advancements in chemical and biosensors for point-of-care detection of acrylamide. *Sensors (Basel).* 2024;24(11):3501. doi:10.3390/s24113501.
11. Liang J., Liu X., Huang M., et al. Total cholesterol: a potential mediator of the association between exposure to acrylamide and hypertension risk in adolescent females. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2022;29(25):38425–38434. doi:10.1007/s11356-021-18342-0.
12. Hsu C.N., et al. Association between acrylamide metabolites and cardiovascular risk in children with early stages of chronic kidney disease. *Int. J. Mol. Sci.* 2020;21(16):1–12. doi:10.3390/ijms21165855.
13. Nixon B.J., Stanger S.J., Nixon B., Roman S.D. Chronic exposure to acrylamide induces DNA damage in male germ cells of mice. *Toxicol. Sci.* 2012;129(1):135–145. doi:10.1093/toxsci/kfs178.
14. Dobrzyńska M.M. Assessment of DNA damage in multiple organs from mice exposed to X-rays or acrylamide or a combination of both using the comet assay. *In Vivo.* 2007;21(4):657–662.

References:

1. Koszucka A., Nowak A., Nowak I., Motyl I. Acrylamide in human diet, its metabolism, toxicity, inactivation and the associated European Union legal regulations in food industry. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2020; 60(10): 1677–1692. doi:10.1080/10408398.2019.1588222.
2. Sarion C., Codină G.G., Dabija A. Acrylamide in bakery products: a review on health risks, legal regulations and strategies to reduce its formation. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021; 18(8): 4332. doi:10.3390/ijerph18084332.
3. Baigildin S.S., Repina E.F., Karimov D.O., Bakirov A.B., Gimadieva A.R. Morphological changes in the liver parenchyma of rats with acute intoxication with acrylamide and the possibility of their preventive correction. *Gigiena i sanitariya.* 2023; 102(6): 597–600. doi:10.47470/0016-9900-2023-102-6-597-600. (In Russ).
4. Govindaraju I., Sana M., Chakraborty I., Rahman H.H., Biswas R., Mazumder N. Dietary acrylamide: a detailed review on formation, detection, mitigation, and its health impacts. *Foods.* 2024; 13(4): 556. doi:10.3390/foods13040556.
5. Maksimova Yu.G., Mochalova E.M., Demakov V.A. Influence of acrylamide on the energy state and survival of bacteria of different systematic groups. *Dokl. RAN. Nauki o zhizni.* 2020; 492(1): 255–259. doi:10.31857/S2686738920030087. (In Russ).
6. Braun O., Coquery C., Kieffer J., Blondel F., Favero C., Besset C., Mesnager J., Voelker F., Delorme C., Matioszek D. Spotlight on the life cycle of acrylamide-based polymers supporting reductions in environmental footprint: review and recent advances. *Molecules.* 2021; 27(1): 42. doi:10.3390/molecules27010042.

7. Huchthausen J., Escher B.I., Grasse N., König M., Beil S., Henneberger L. Reactivity of acrylamides causes cytotoxicity and activates oxidative stress response. *Chem. Res. Toxicol.* 2023; 36(8): 1374–1385. doi:10.1021/acs.chemrestox.3c00115.
8. Kim Y.S., Kim Y.Y., Hwang H.J., Shin H.S. Validation of analytical methods for acrylic acid from various food products. *Food Sci. Biotechnol.* 2022; 31(11): 1377–1387. doi:10.1007/s10068-022-01131-x.
9. Scarselli A., Porzio A., Marinaccio A. Evaluation of occupational exposure risk experienced by a cohort of workers exposed to acrylonitrile using a register-based information system. *Ann. Work Expo. Health.* 2025; wxaf021. doi:10.1093/annweh/wxaf021.
10. Xie M., Lv X., Wang K., Zhou Y., Lin X. Advancements in chemical and biosensors for point-of-care detection of acrylamide. *Sensors (Basel).* 2024; 24(11): 3501. doi:10.3390/s24113501.
11. Liang J., Liu X., Huang M., et al. Total cholesterol: a potential mediator of the association between exposure to acrylamide and hypertension risk in adolescent females. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2022; 29(25): 38425–38434. doi:10.1007/s11356-021-18342-0.
12. Hsu C.N., et al. Association between acrylamide metabolites and cardiovascular risk in children with early stages of chronic kidney disease. *Int. J. Mol. Sci.* 2020; 21(16): 1–12. doi:10.3390/ijms21165855.
13. Nixon B.J., Stanger S.J., Nixon B., Roman S.D. Chronic exposure to acrylamide induces DNA damage in male germ cells of mice. *Toxicol. Sci.* 2012; 129(1): 135–145. doi:10.1093/toxsci/kfs178.
14. Dobrzyńska M.M. Assessment of DNA damage in multiple organs from mice exposed to X-rays or acrylamide or a combination of both using the comet assay. *In Vivo.* 2007; 21(4): 657–662.

Поступила/Received: 29.05.2025

Принята в печать/Accepted: 09.06.2025

УДК 691.175

ОПИСАТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ОРГАНАХ КРЫС ПРИ ВНУТРИСЕРДЕЧНОМ ВВЕДЕНИИ

Гизатуллина А.А., Валова Я.В., Репина Э.Ф., Якупова Т.Г., Каримов Д.Д., Ахмадеев А.Р.

ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», Уфа, Россия

Производство и использование органических полимеров привело к загрязнению окружающей среды микро- и нанопластиком. Учитывая широкое воздействие микропластика (МП), крайне важно изучение конкретных путей, по которым частицы могут проникать и накапливаться в тканях живых организмов.

Материалы и методы. Объектом исследования послужили белые беспородные крысы женского пола. Методом случайной выборки было сформировано 2 группы по 3 животных в каждой. Животным из экспериментальной группы однократно внутрисердечно вводили 50 мкл 1% суспензии флуоресцентного полистирола (100 нм). Животным контрольной группы вводили эквивалентное количество физраствора. Исследование распределения МП в организме лабораторных животных проводилось путём микроскопического анализа различных органов.

Результаты. Органы животных из контрольной группы демонстрировали равномерное умеренное флуоресцентное свечение тканей без признаков накопления посторонних веществ. В группе животных, подвергнутых воздействию частиц МП, были зафиксированы флуоресцентные частицы. Во всех изученных органах (печени, почках, головном мозге, сердце, лёгких и яичниках) отмечены наличие отдельных флуоресцирующих объектов сферической формы, часто формирующих небольшие скопления или конгломераты. Эти структуры располагались преимущественно в функционально значимых зонах органов: вокруг сосудов печени, коркового слоя почек, коры головного мозга, близ альвеолярных структур лёгких, а также возле фолликулов яичников. Наиболее заметные скопления наблюдались именно в этих участках, отличаясь высокой интенсивностью флуоресценции и крупными размерами (до 35 мкм), свидетельствующими о значительной концентрации пластических материалов.

Заключение. Полученные результаты подтверждают способность МП размером 100 нм проникать и накапливаться в различных органах экспериментальных животных.

Ключевые слова: микропластик, внутрисердечная инъекция, аккумуляция, аутбредные крысы.

Для цитирования: Гизатуллина А.А., Валова Я.В., Репина Э.Ф., Якупова Т.Г., Каримов Д.Д., Ахмадеев А.Р. Полуколичественный анализ накопления частиц микропластика в головном мозге крыс после однократного внутрисердечного введения. Медицина труда и экология человека. 2025; 2: 154-172.

Для корреспонденции: Гизатуллина Алина Анваровна, младший научный сотрудник лаборатории генетики отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных, e-mail: alinagisa@yandex.ru.

Финансирование: Отраслевая научно-исследовательская программа Роспотребнадзора на 2021-2025 годы «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровью и повышения качества жизни населения России», по теме: «Изучение патогенетических механизмов воздействия микропластика на клеточных и животных экспериментальных моделях» № НИОКТР 123020100015-9.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии явных или потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10210>

SEMI-QUANTITATIVE ANALYSIS OF MICROPLASTIC PARTICLE ACCUMULATION IN RAT BRAIN AFTER A SINGLE INTRACARDIAC ADMINISTRATION

Gizatullina A.A., Valova Ya.V., Repina E.F., Yakupova T.G., Karimov D.D., Akhmadeev A.R.

Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia

The production and use of organic polymers has led to environmental pollution with micro- and nanoplastics. Given the widespread exposure to microplastics (MPs), it is crucial to study the specific pathways by which particles can penetrate and accumulate in the tissues of living organisms.

Materials and Methods. The study subjects were female white outbred rats. Two groups of 3 animals each were formed by random sampling. Rats in the experimental group received a single intracardiac injection of 50 μ L of a 1% fluorescent polystyrene suspension (100 nm). Control group animals were administered an equivolume amount

of saline solution. The distribution of MPs (microplastics) in laboratory animals was investigated through microscopic analysis of various organs.

Results. The organs of animals from control group exhibited a uniform, moderate fluorescent tissue glow with no signs of foreign substance accumulation. In the group exposed to MP (microplastic) particles, fluorescent particles were detected. In all examined organs (liver, kidneys, brain, heart, lungs, and ovaries), the presence of individual fluorescent spherical objects was noted, often forming small clusters or conglomerates. These structures were predominantly located in functionally significant areas of the organs: around liver blood vessels, the renal cortex, cerebral cortex, near alveolar structures in the lungs, and adjacent to ovarian follicles. The most prominent clusters were observed in these regions, characterized by high fluorescence intensity and large size (up to 35 μm), indicating a significant concentration of plastic materials.

Conclusion. The obtained results confirm the ability of 100 nm-sized microplastics to penetrate and accumulate in various organs of the experimental animals.

Keywords: microplastics, intracardiac injection, blood-brain barrier, accumulation, outbred rats.

For citation: Gizatullina A.A., Valova Ya.V., Repina E.F., Yakupova T.G., Karimov D.D., Akhmadeev A.R. Semiquantitative analysis of microplastic particle accumulation in the rat brain after a single intracardiac injection. *Occupational Health and Human Ecology*. 2025; 2: 154-172.

Correspondence: Alina A. Gizatullina, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Department of Toxicology and Genetics with Experimental Clinic of Laboratory Animals, e-mail: alinagisa@yandex.ru.

Funding: Industry research program of Rospotrebnadzor for 2021-2025 «Scientific substantiation of the national system for ensuring sanitary and epidemiological well-being, managing health risks and improving the quality of life of the population of Russia», on the topic: «Study of the pathogenetic mechanisms of the effects of microplastics on cellular and animal experimental models» No. NIOKTR 123020100015-9.

Conflict of interest: the authors confirm that there are no known conflicts of interest associated with this publication.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10210>

Загрязнение микропластиком (МП) представляет собой глобальную экологическую проблему, признанную одной из наиболее значимых в области

охраны окружающей среды. По данным, ежегодный объем производства пластика достигает около 320 миллионов тонн, при этом до 94% отходов пластика попадает в окружающую среду [1].

МП представляет собой пластиковые частицы диаметром менее 5 мм, которые образуются из-за фотоокисления, выветривания, а также механической и биологической деградации более крупных пластиковых отходов. Он может существовать в окружающей среде длительное время из-за своих стабильных химических свойств. Вследствие низкой биоразлагаемости МП способен распространяться по пищевой цепи, представляя потенциальную угрозу для здоровья человека в связи с его возрастающей концентрацией по мере продвижения по трофическим уровням [2].

Понимание распределения и аккумуляции микропластика (МП) различных размеров в организме человека имеет решающее значение для оценки потенциального воздействия этих частиц на здоровье. Результаты показали, что количество микропластика, попадающего в организм человека через пищу, питьевую воду и дыхание, составило $(0-7,3) \times 10^4$, $(0-4,7) \times 10^3$ и $(0-3,0) \times 10^7$ на человека в год, соответственно [3].

После попадания в организм, МП могут распределяться по различным органам и тканям через систему кровообращения [4]. Уровни МП варьируются в зависимости от ткани: кровь (1,6 мкг/мл), ткани сердца ($0-7,75$ МП/г), грудное молоко ($0-2,72$ МП/г), печень (4,6 МП/г), селезенка (1,1 МП/г), легкие ($0,69-14,1$ МП/г), жидкость бронхоальвеолярного лаважа ($9,18 \pm 2,45$ МП/100 мл) [5]. Liu et al. (2022) обнаружили МП в образцах плаценты и мекония, что свидетельствует о его способности преодолевать плацентарный барьер [6]. Это подчеркивает повышенную уязвимость определенных групп населения к пагубному воздействию МП, подчеркивая важность дальнейших исследований основных механизмов его распределения в организме.

Учитывая широкое воздействие МП, крайне важно изучение конкретных путей, по которым МП могут проникать и накапливаться в тканях живых организмов.

Цель работы заключалась в изучении распределения частиц МП в головном мозге, легких, почках, печени, сердце и яичниках крыс после однократного внутрисердечного введения суспензии микрочастиц размером 100 нм.

Материалы и методы. Эксперимент проводили на белых аутбредных крысах женского пола массой 180-200 г. Для экспериментального исследования методом случайной выборки было сформировано 2 группы по 3 животных в каждой. Все

экспериментальные животные содержались в стандартных условиях при постоянной температуре воздуха (20-25°C), уровнем влажности и освещенности. Уход за животными осуществлялся в соответствии с ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур». Все экспериментальные исследования выполнены в соответствии с Директивой Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22.09.2010 о защите животных, используемых для научных целей.

Животным экспериментальной группы путём однократной внутрисердечной инъекции вводили 50 мкл 1% суспензии микрочастиц полистирола, меченных флуоресцентным красителем (длина волны пика возбуждения – 488 нм, длина волны пика эмиссии – 518 нм), в физиологическом растворе (QiuHuan, КНР). В эксперименте использовали микрочастицы пластика с диаметром 100 нм. Животным контрольной группы вводили эквивалентное количество физраствора.

После 5 часов воздействия осуществлялось умерщвление путём декапитации. При вскрытии животных непосредственно после забоя был проведён отбор фрагментов тканей 6 органов (мозг, печень, почка, легкие, сердце, яичники) от каждого животного каждой группы в сосуды вместимостью 10 мл, по одному кусочку органа животного размером 0,5*0,5*0,5 см³ для приготовления микросрезов замороженных тканей. Хранение кусочков тканей до приготовления срезов на микротоме-криостате осуществлялось при -70°C в криогеле. Криотомия производилась на напольном микротоме-криостате Leica CM 1520 (Leica BioSystems, Германия), толщина срезов составляла 10 мкм, затем срезы помещались на предметное стекло и сразу производилось фотографирование при увеличении 200x со светофильтром EGFP в имиджере Celena X (Logos Biosystems, Южная Корея).

Результаты. На рисунках 1-2 представлены микрофотографии фрагментов печени животных контрольной группы и животных, подвергшихся воздействию микропластика, полученные во флуоресцентном режиме. В печени животных контрольной группы отмечалась равномерная, умеренная флуоресценция гепатоцитов. Не было обнаружено ярко флуоресцирующих объектов сферической формы, их конгломератов либо флуоресцирующих тканевых элементов (рис. 1).

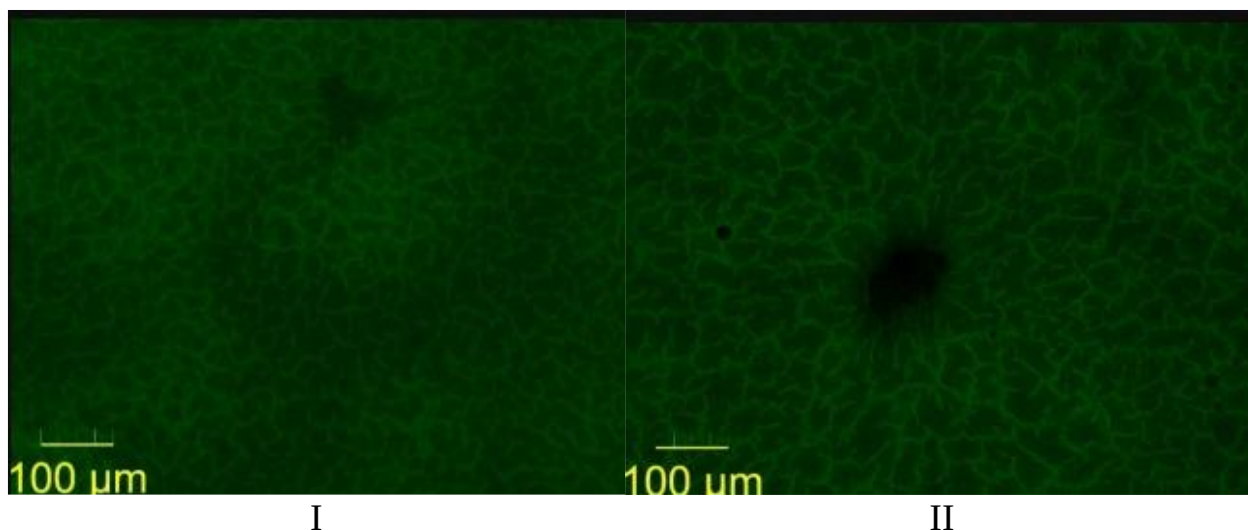


Рисунок 1. Фрагменты печени животных контрольной группы: наблюдалась равномерная, умеренная флуоресценция гепатоцитов (I, II). Увел. X100.

Figure 1. Liver fragments from animals in the control group: uniform, moderate fluorescence of hepatocytes was observed (I, II). Magnification X100.

В печени животных экспериментальной группы наблюдалась равномерная, умеренная флуоресценция гепатоцитов. Встречались флюоресцирующие объекты сферической формы преимущественно в области печеночных триад, а также единичные объекты без четкой локализации (рис. 2).

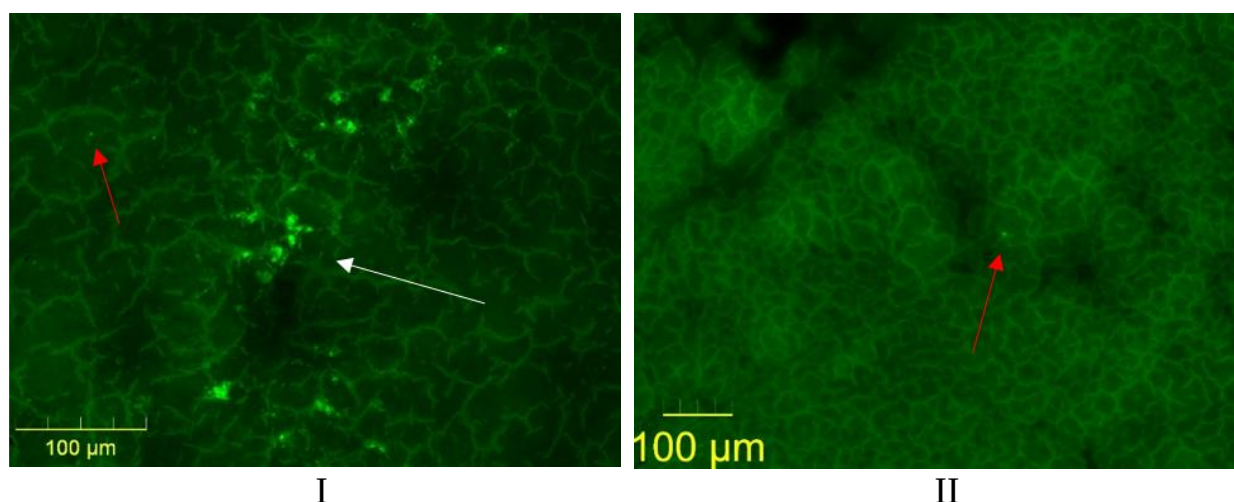


Рисунок 2. Фрагменты печени животных группы «МП 100»: наблюдалась равномерная, умеренная флуоресценция гепатоцитов. Белая стрелка указывает на ярко флуоресцирующие объекты сферической формы преимущественно в области печеночных триад (I). Увел. X200. Встречались также единичные фрагменты без четкой локализации, на которые указывает красная стрелка (I, II). Увел. X10.

Figure 2. Liver fragments from animals of the «MP 100» group: uniform, moderate fluorescence of hepatocytes was observed. The white arrow points to brightly fluorescent spherical objects mainly in the region of the liver triads (I). Magnification X200. There were also single fragments without clear localization, indicated by the red arrow (I, II). Magnification X10.

На рисунках 3 и 4 представлены микрофотографии фрагментов почек животных контрольной группы и животных, подвергшихся воздействию микропластика, полученные во флуоресцентном режиме. В группе отрицательного контроля наблюдается равномерная, умеренная флуоресценция поля зрения с незначительным числом артефактов (рис. 3). Артефакты характеризуются нечеткой формой, слабой интенсивностью свечения.

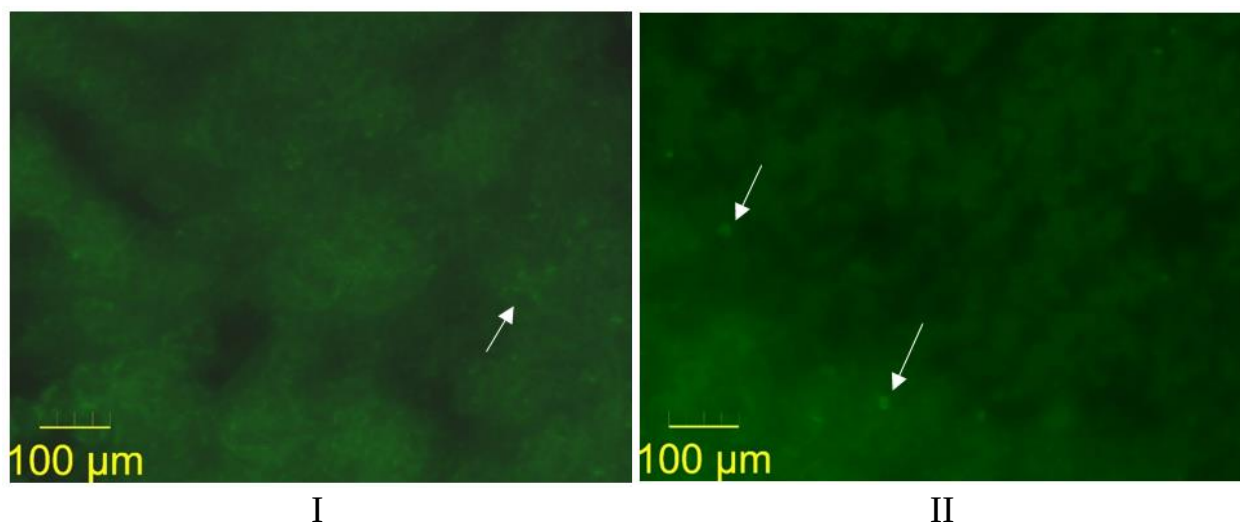


Рисунок 3. Фрагменты почек животных контрольной группы: наблюдалась равномерная, умеренная флуоресценция поля зрения (I, II). Белая стрелка указывает на примеры артефактов. Увел. X100.

Figure 3. Kidney fragments from control animals: uniform, moderate fluorescence of the visual field was observed (I, II). White arrow points to examples of artifacts. Magnification X100.

В почках животных группы «МП 100» наблюдалась равномерная, умеренная флуоресценция поля зрения, но вместе с тем встречались единичные флуоресцирующие тканевые элементы с нечеткими краями, но сферической формы – преимущественно в корковом слое (рис. 4). Объекты имели слабую интенсивность свечения.

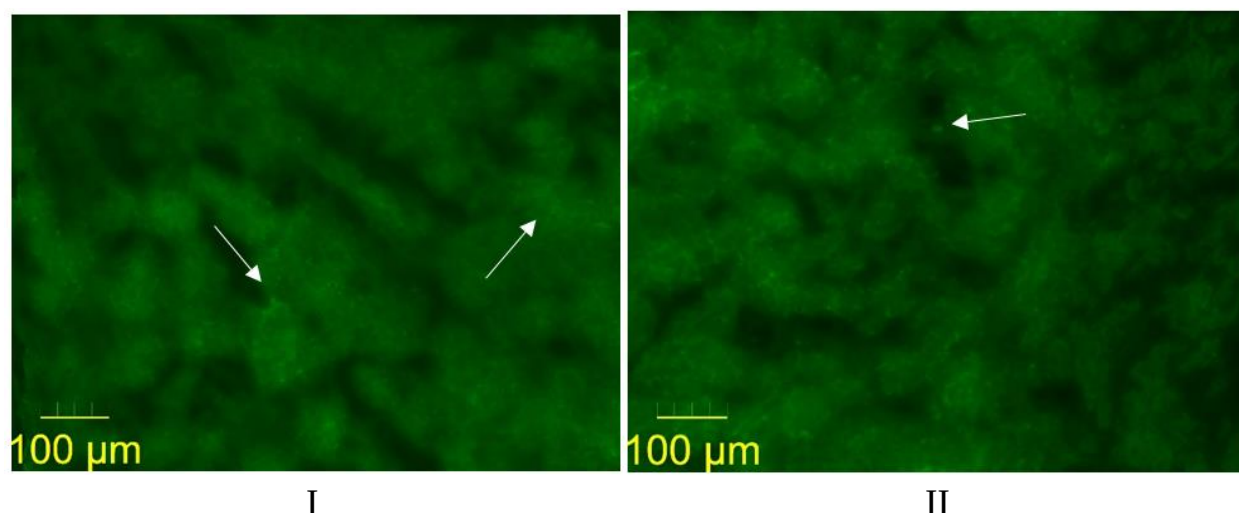


Рисунок 4. Фрагменты почек животных группы «МП 100», белая стрелка указывает на единичные флюорисцирующие тканевые элементы сферической формы (I, II).
Увел. X100.

Figure 4. Kidney fragments from animals of the «MP 100» group, the white arrow points to single fluorescent tissue elements of spherical shape (I, II). Magnification X100.

На рисунках 5, 6 представлены микрофотографии фрагментов головного мозга животных контрольной группы и животных, подвергшихся воздействию микропластика, полученные во флуоресцентном режиме. В контрольной группе на всем поле зрения различались флуоресцирующие тканевые элементы размером порядка 10-12 мкм (рис. 5).

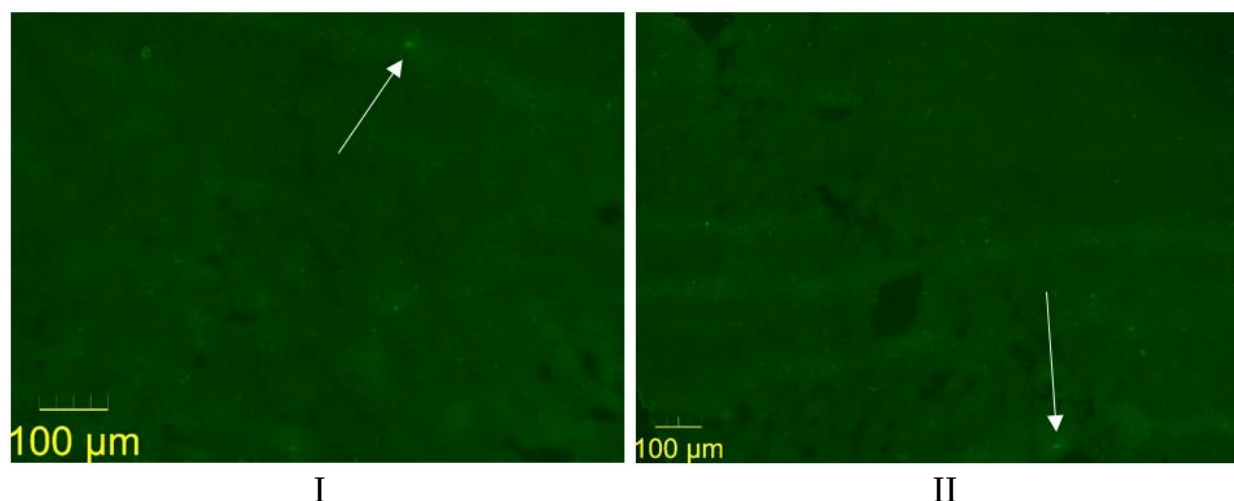


Рисунок 5. Фрагменты головного мозга животных контрольной группы: белая стрелка указывает на флуоресцирующие тканевые элементы, обнаруженные в поле зрения (I, II). Увел. X100.

Figure 5. Brain fragments from animals in the control group: the white arrow points to fluorescent tissue elements found in the field of view (I, II). Magnification X100.

В головном мозге животных группы «МП 100» наблюдались флуоресцирующие тканевые элементы размером порядка 10-12 мкм, а также конгломераты флуоресцирующих объектов с четкими контурами размером порядка 6-12 мкм. Наибольшее скопление указанных объектов и элементов было сосредоточено преимущественно в коре головного мозга (рис. 6).

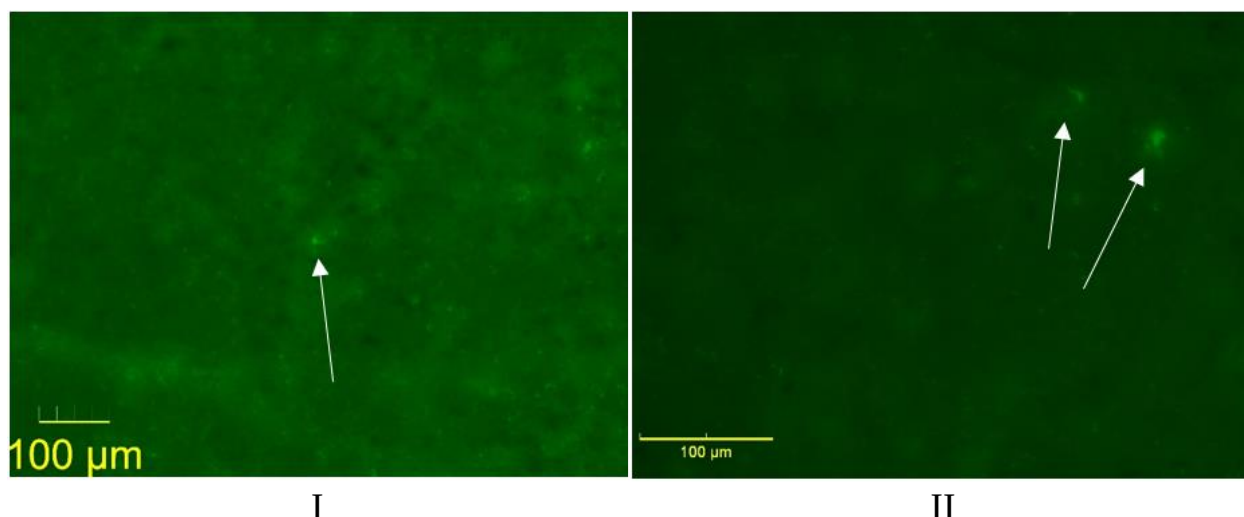


Рисунок 6. Фрагменты головного мозга животных группы «МП 100»:
флуоресцирующие тканевые элементы (белая стрелка) (I, II). Увел. X100.

Figure 6. Brain fragments of animals of the «MP 100» group: fluorescent tissue elements (white arrow) (I, II). Magnification X100.

На рисунках 7, 8 представлены микрофотографии фрагментов легких животных контрольной группы и животных, подвергшихся воздействию микропластика, полученные во флуоресцентном режиме. В контрольной группе наблюдается равномерная, умеренная флуоресценция поля зрения. Не обнаружены флуоресцирующие объекты либо тканевые элементы (рис. 7).

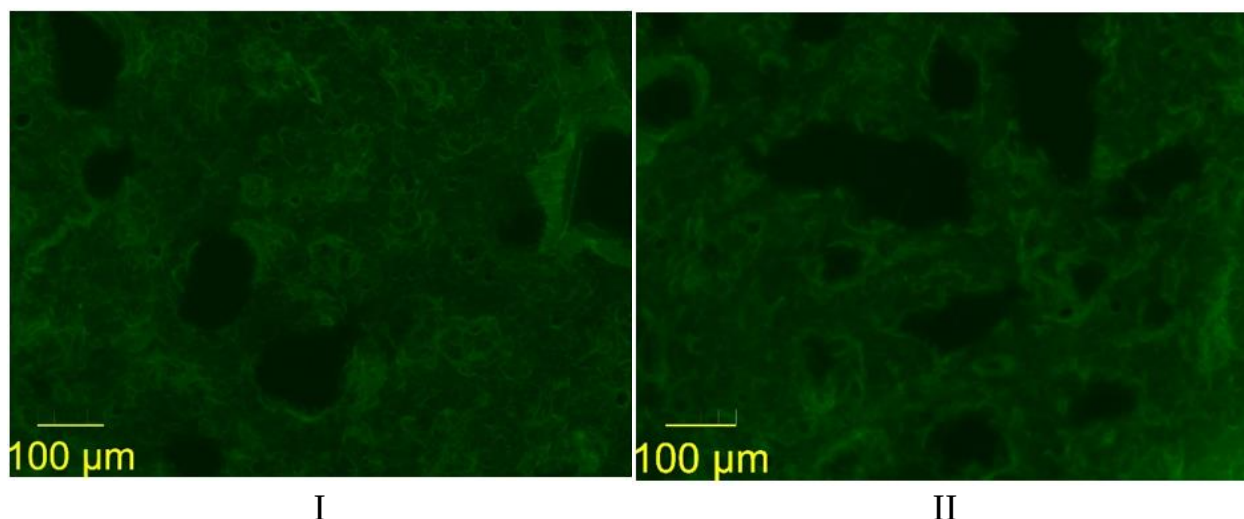


Рисунок 7. Фрагменты лёгких животных контрольной группы: равномерная, умеренная флюоресценция поля зрения (I, II). Увел. X 100.

Figure 7. Fragments of the lungs of animals of the control group: uniform, moderate fluorescence of the visual field (I, II). Magnification X 100.

При исследовании тканей животных, подвергшихся воздействию МП размером 100 нм (группа «МП 100») различались флуоресцирующие объекты размером порядка 2-6 мкм, расположенные преимущественно вблизи ацинусов и альвеолярных ходов. Объекты образовывали конгломераты размером около 6-12 мкм, которые сохраняли четкие контуры и яркую интенсивность свечения. Различались тканевые элементы, характеризующиеся ярким свечением и неясным контуром (рис. 8).

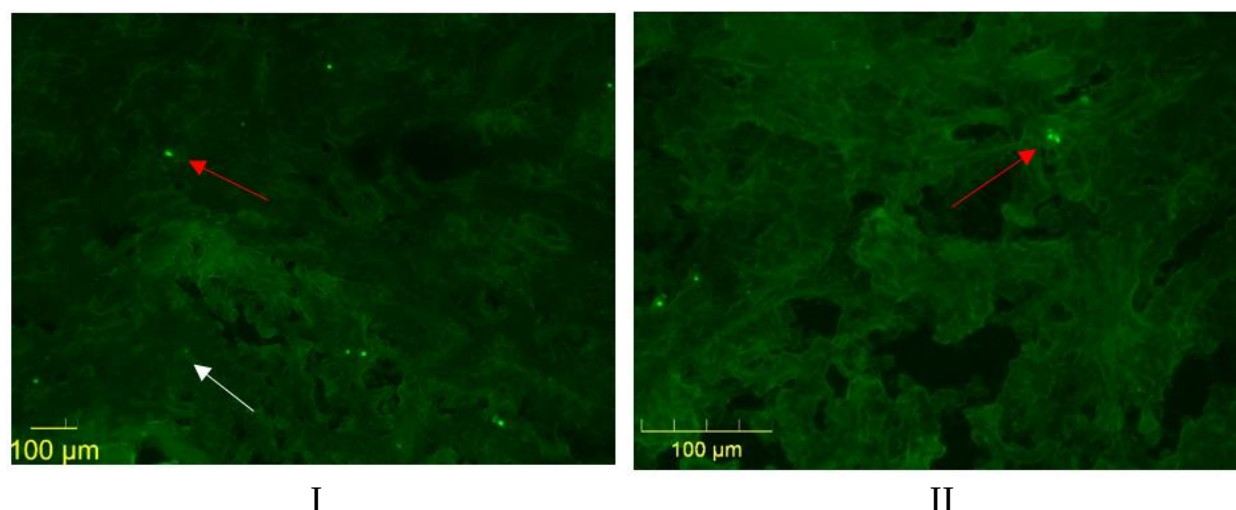


Рисунок 8. Фрагменты лёгких животных группы «МП 100»: флуоресцирующие тканевые элементы (белая стрелка) и объекты (красная стрелка) (I, II). Увел. X 100.

Figure 8. Fragments of lungs of animals of the «MP 100» group: fluorescent tissue elements (white arrow) and objects (red arrow) (I, II). Magnification X 100.

На рисунках 9, 10 представлены микрофотографии фрагментов сердца животных контрольной группы и животных, подвергшихся воздействию микропластика, полученные во флуоресцентном режиме. Наблюдается равномерная, умеренная флуоресценция поля зрения. Встречались флуоресцирующие тканевые элементы с нечеткими контурами неправильной формы (рис. 9).

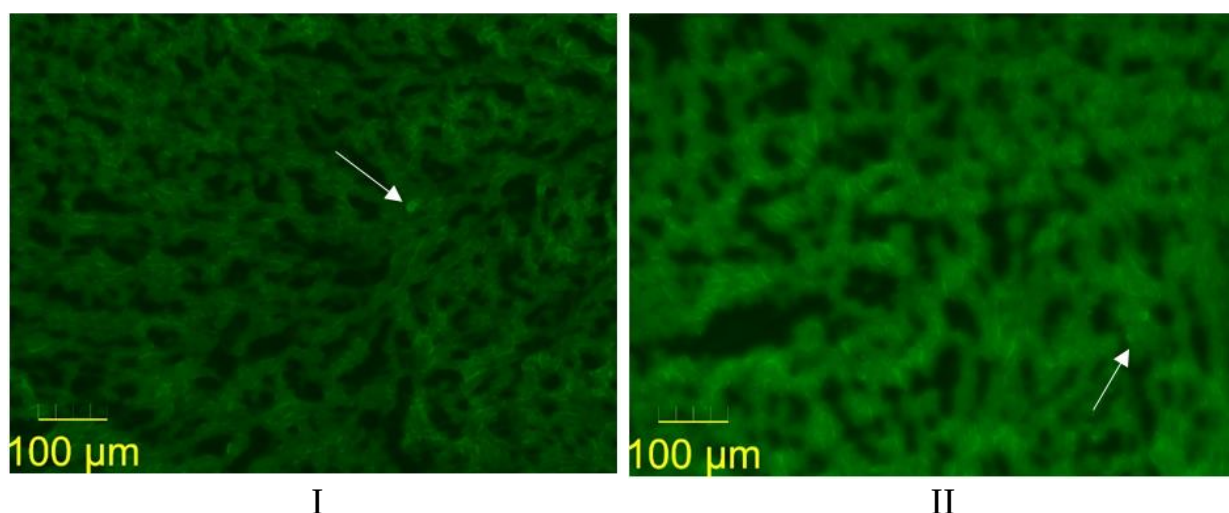


Рисунок 9. Фрагменты сердца животных контрольной группы: белая стрелка указывает флуоресцирующие тканевые элементы (I, II). Увел. X 100.

Figure 9. Heart fragments from animals in the control group: the white arrow indicates fluorescent tissue elements (I, II). Magnification X 100.

При исследовании тканей животных, подвергшихся воздействию МП размером 100 нм (группа «МП 100») различались как единичные флуоресцирующие объекты, так и крупные, порядка 15-25 мкм, конгломераты. Различались тканевые элементы, характеризующиеся ярким свечением и неясным контуром (рис. 10).

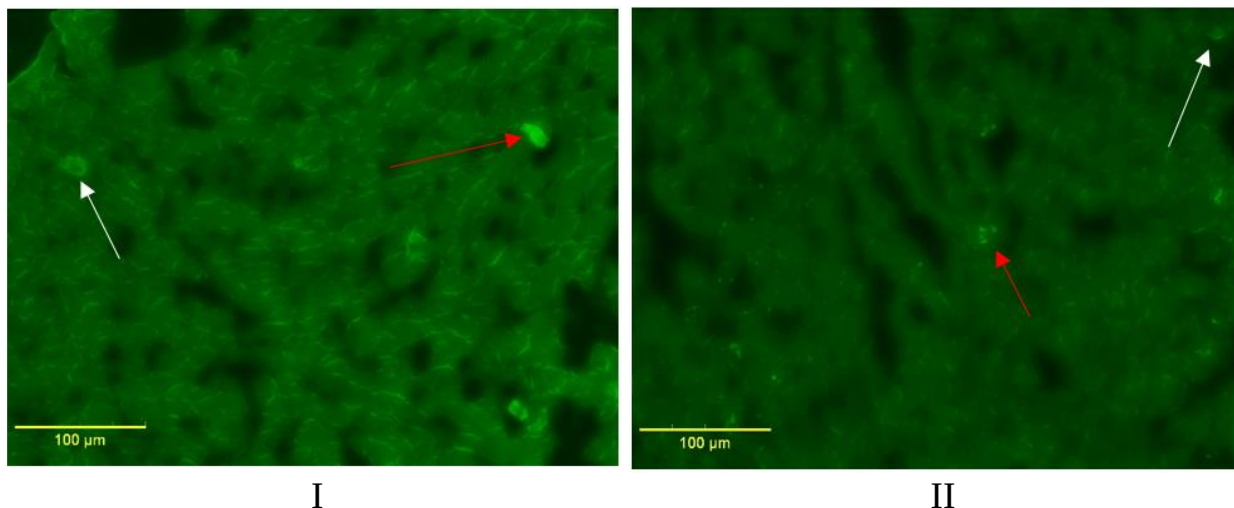


Рисунок 10. Фрагменты сердечной мышцы животных группы «МП 100»: белая стрелка указывает на флуоресцирующие тканевые элементы, красная – на флуоресцирующие объекты с четкими краями либо их конгломераты (I, II). Увел. X 100.

Figure 10. Fragments of the cardiac muscle of animals of the «MP 100» group: the white arrow points to fluorescent tissue elements, the red arrow points to fluorescent objects with clear edges or their conglomerates (I, II). Magnification X 100.

На рисунках 11, 12 представлены микрофотографии фрагментов яичников животных контрольной группы и животных, подвергшихся воздействию микропластика, полученные во флуоресцентном режиме. Наблюдается равномерная, умеренная флюоресценция поля зрения в группе «Контроль» (рис. 11).

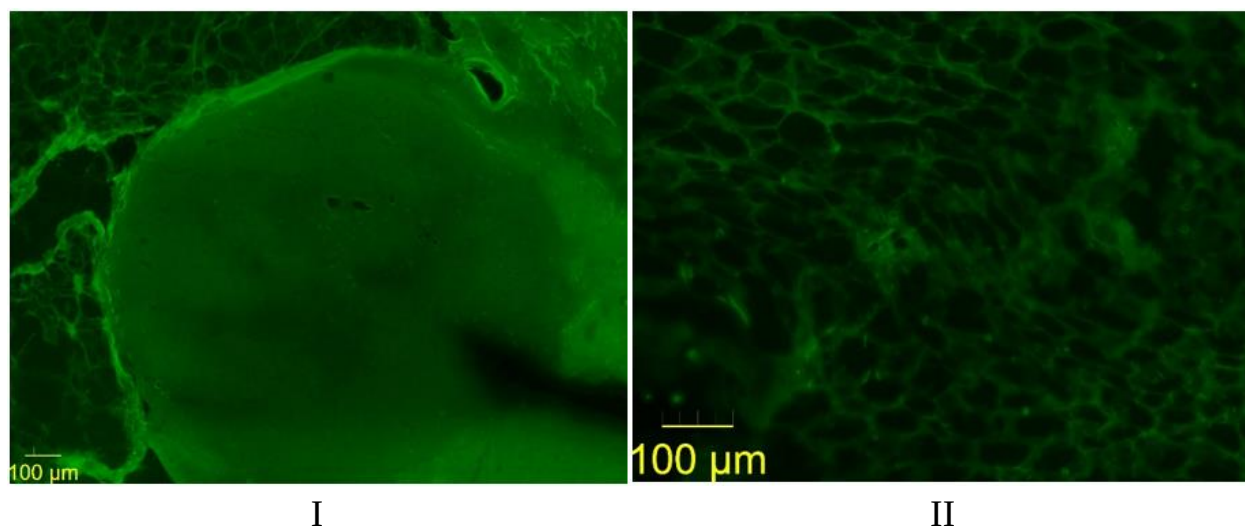


Рисунок 11. Фрагменты яичника животных контрольной группы: равномерная, умеренная флюоресценция поля зрения (I, II). Увел. X 100.

Figure 11. Fragments of the ovary of animals of the control group: uniform, moderate fluorescence of the visual field (I, II). Magnification X 100.

В группе «МП 100» на фоне равномерной и умеренной флюоресценции поля зрения наблюдаются многочисленные флуоресцирующие объекты, их конгломераты, тканевые элементы, располагающиеся преимущественно вокруг фолликулов (рис. 12). Конгломераты характеризуются четкими контурами, ярким свечением, их размер достигает порядка 20-35 мкм.

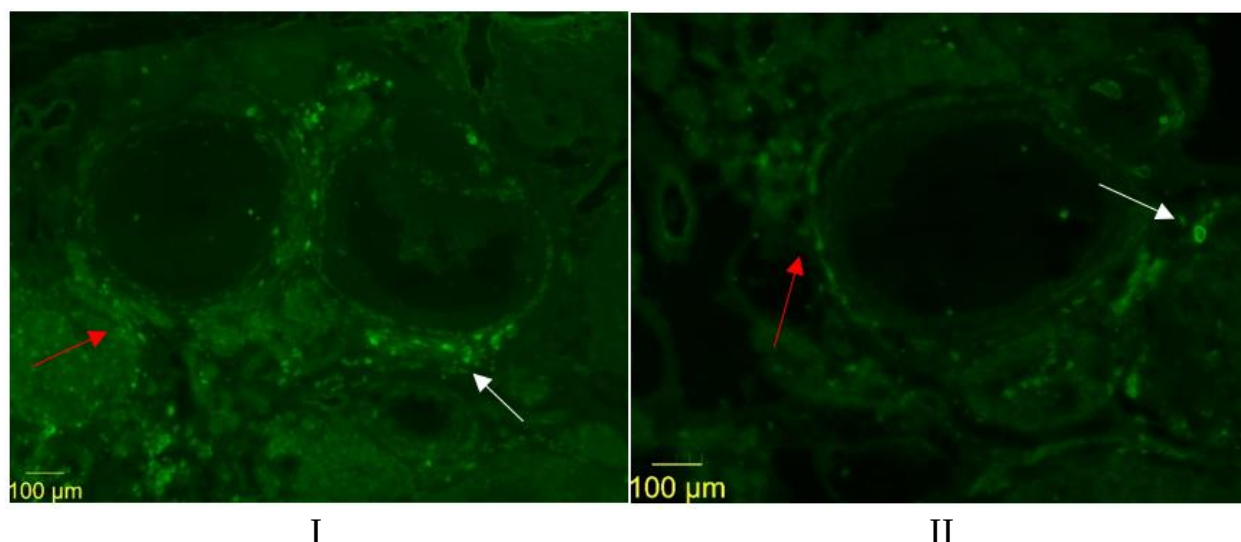


Рисунок 12. Фрагменты яичника животных группы «МП 100»: белая стрелка указывает на флуоресцирующие объекты либо их конгломераты, красная – на тканевые элементы (I, II). Увел. X 100.

Figure 12. Ovarian fragments from animals of the «MP 100» group: the white arrow points to fluorescent objects or their conglomerates, the red arrow points to tissue elements (I, II). Magnification X 100.

В результате проведенного анализа микрофотографий биологических образцов было установлено, что в органах животных контрольных групп наблюдалась равномерная, умеренная флуоресценция полей зрения. Встречались артефакты, характеризующиеся нечеткой формой, слабой интенсивностью свечения. В экспериментальной группе флуоресцирующие объекты сферической формы встречались в области печеночных триад, корковом слое почек и коре головного мозга, в области фолликул яичников, ацинусов легких и хаотично в тканях сердца.

Обсуждение. Многочисленные исследования демонстрируют, что МП не только накапливается в тканях млекопитающих, но и вызывает ряд биохимических и метаболических нарушений, включая энергетический дисбаланс, воспаление, окислительный стресс и нейротоксичность, что указывает на потенциальную опасность микропластика для здоровья [7]. Длительное воздействие частиц пластика влияет на кальцификацию сосудов, может вызывать отложение кальция на стенках сердца и восходящей аорты [8].

Известно, что распределение частиц МП зависит от их размера. Еще в 2016 году, опираясь на имеющуюся к тому моменту научную литературу, Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов пришло к выводу, что очень

незначительная фракция частиц диаметром менее 150 мкм может пересекать барьер слизистой оболочки кишечника при пероральном поступлении вещества. Также ими было выдвинуто предположение, что только частицы диаметром менее 1,5 мкм могут транспортироваться в более глубокие ткани [9]. Ранее было установлено, что частицы размером менее 700 нм проходят через клеточную мембрану внутрь клеток через рецептор-опосредованный эндоцитоз [10], тогда как более крупные частицы поглощаются посредством фагоцитоза [11].

По аналогии с наночастицами, при изучении которых было показано, что частицы, попадающие не только в нано, но и в микрометровый диапазон (50–250 нм), обнаруживаются в печени, селезенке и крови, МП, вероятно, может быть распознан специфическими защитными системами организма и поглощен системой мононуклеарных фагоцитов [12, 13]. Это должно препятствовать его проникновению в другие ткани.

Наличие пластика в организме может усугублять уже имеющиеся и развивающиеся патологии, что также зависит от размера. Так, в работе Kaga S. показано, что сферические микрочастицы пластика размером 21 нм накапливались в опухолевой ткани мышей в наибольшем количестве по сравнению с более крупными сферическими частицами (33 нм) или палочковидными (350-500 нм) или червеобразными (1-2 мкм) [14].

В систематическом обзоре, опубликованном Roslan с соавторами, сообщают о присутствии микропластика различных размеров более чем в половине систем органов человека [15]. Так частицы размером 20-100 μm были обнаружены в семенниках [16], от 1,6 до 20 μm в ткани легких [17], 5-25 μm в селезенке, 4-30 μm в печени [18], 20,34-307,24 μm в плаценте [19].

Важно отметить, что микрочастицы размером менее 100 нм способны проникать через биологические барьеры (например, плацентарный барьер) и могут представлять большую опасность по сравнению с более крупными фрагментами из-за их потенциальной способности к более активному взаимодействию с биологическими молекулами.

Выбранный способ введения – внутрисердечный – несмотря на то, что не является естественным путем поступления микропластика в организм, используется в экспериментальных работах для оценки распределения и наиболее точного контроля дозы микрочастиц [20]. Отмечается, что при пероральном введении около 10 % наночастиц размером 60 нм задерживаются в кишечнике животных [21], тогда как более крупные фрагменты (до 150 нм) вовсе не достигают

кровотока, меньше распределяются в тканях [22, 23]. В работе Carr и соавт. представлены данные, согласно которым менее 1 % изучаемых латексных частиц размером 2 мкм смогли пересечь барьер кишечного эпителия [24]. Внутрисердечный способ введения минимизирует вариативность, связанную с различиями в абсорбции через желудочно-кишечный тракт, а также позволяет избежать агрегации и задержки частиц в легких, что характерно для ингаляционного или перорального путей. Такой подход позволяет исключить влияние физиологических барьеров и максимально точно оценить способность микропластика проникать в ткани органов-мишеней в условиях контролируемой временной экспозиции.

Заключение. В нашем исследовании было продемонстрировано накопление частиц МП размером 100 нм в мозге, печени, почках, сердце, легких и яичниках крыс уже спустя 5 часов после внутрисердечной инъекции 1% суспензии МП в дистиллированной воде. Обнаружены микрочастицы пластика как отдельно друг от друга, так и объединенные в группы – конгломераты.

Список литературы:

References:

1. Shen M, Ye S, Zeng G, Zhang Y, Xing L, Tang W, Liu S. Can microplastics pose a threat to ocean carbon sequestration? *Mar Pollut Bull.* 2020;150:110712. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110712.
2. Wright SL, Kelly FJ. Plastic and human health: a micro issue? *Environ Sci Technol.* 2017;51:6634–6647. doi: 10.1021/acs.est.7b00423.
3. Wu P, Lin S, Cao G, et al. Absorption, distribution, metabolism, excretion and toxicity of microplastics in the human body and health implications. *J Hazard Mater.* 2022;437:129361. doi: 10.1016/j.jhazmat.2022.129361.
4. Prata JC. Microplastics and human health: Integrating pharmacokinetics. *Crit Rev Environ Sci Technol.* 2023;53(16):1489–1511. doi: 10.1080/10643389.2023.2195798.
5. Li Y, Chen L, Zhou N, et al. Microplastics in the human body: A comprehensive review of exposure, distribution, migration mechanisms, and toxicity. *Sci Total Environ.* 2024;174215. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.174215.
6. Liu S, Liu X, Guo J, et al. The association between microplastics and microbiota in placentas and meconium: the first evidence in humans. *Environ Sci Technol.* 2022;57(46):17774–17785. doi: 10.1021/acs.est.2c04706.
7. Deng Y, Zhang Y, Lemos B, et al. Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure. *Sci Rep.* 2017;7:46687. doi: 10.1038/srep46687.
8. Yan J, Pan Y, He J, Pang X, Shao W, Wang C, et al. Toxic vascular effects of polystyrene microplastic exposure. *Sci Total Environ.* 2023;905:167215. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.167215.
9. Wallace HM, Alexander J, Barregård L, Bignami M. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *EFSA J.* 2016;14:1–30. doi: 10.2903/j.efsa.2016.4501.

10. Goldstein IM, Kaplan HB, Edelson HS, Weissmann G. Ceruloplasmin: A scavenger of superoxide anion radicals. *J Biol Chem.* 1979;254:4040–4045. doi: 10.1016/S0021-9258(18)50692-X.
11. Aderem A, Underhill DM. Mechanisms of phagocytosis in macrophages. *Annu Rev Immunol.* 1999;17:593–623. doi: 10.1146/annurev.immunol.17.1.593.
12. Sukhanova A, Bozrova S, Sokolov P, Berestovoy M, Karaulov A, Nabiev I. Dependence of nanoparticle toxicity on their physical and chemical properties. *Nanoscale Res Lett.* 2018;13(1):44.
13. De Jong WH, Hagens WI, Krystek P, Burger MC, Sips A, Geersma RE. Particle size-dependent organ distribution of gold nanoparticles after intravenous administration. *Biomaterials.* 2008;29:1912–1919.
14. Kaga S, Truong NP, Esser L, Senyschyn D, Sanyal A, Sanyal R, et al. Influence of size and shape on the biodistribution of nanoparticles prepared by polymerization-induced self-assembly. *Biomacromolecules.* 2017;18:3963–3970. doi: 10.1021/acs.biomac.7b00995.
15. Roslan NS, et al. Detection of microplastics in human tissues and organs: A scoping review. *J Glob Health.* 2024;14:04179.
16. Zhao Q, Zhu L, Weng J, Jin Z, Cao Y, Jiang H, et al. Detection and characterization of microplastics in the human testis and semen. *Sci Total Environ.* 2023;877:162713. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162713.
17. Chen Q, Gao J, Yu H. An emerging role of microplastics in the etiology of lung ground glass nodules. *Environ Sci Eur.* 2022;34:25. doi: 10.1186/s12302-022-00605-3.
18. Horvatits T, Tamminga M, Liu B, Sebode M, Carambia A, Fischer L, et al. Microplastics detected in cirrhotic liver tissue. *EBioMedicine.* 2022;82:104147. doi: 10.1016/j.ebiom.2022.104147.
19. Zhu L, Zhu J, Zuo R, Xu Q, Qian Y, Lihui AN. Identification of microplastics in human placenta using laser direct infrared spectroscopy. *Sci Total Environ.* 2023;856:159060. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159060.
20. Kannan K., Vimalkumar K. A Review of Human Exposure to Microplastics and Insights Into Microplastics as Obesogens. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2021; 12: 724989. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.724989>.
21. Hillery A.M., Jani P.U., Florence A.T. Comparative, quantitative study of lymphoid and non-lymphoid uptake of 60 nm polystyrene particles. *J Drug Target.* 1994; 2(2): 151–6. <https://doi.org/10.3109/10611869409015904>
22. Braakhuis H.M., Park M.V., Gosens I., De Jong W.H., Cassee F.R. Physicochemical characteristics of nanomaterials that affect pulmonary inflammation. *Part Fibre Toxicol.* 2014; 1: 18. <https://doi.org/10.1186/1743-8977-11-18>,
23. Powell J.J., Faria N., Thomas-McKay E., Pele L.C. Origin and fate of dietary nanoparticles and microparticles in the gastrointestinal tract. *J Autoimmun.* 2010; 34(3): J226–33. <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2009.11.006>
24. Carr K.E., Smyth S.H., McCullough M.T., Morris J.F., Moyes S.M. Morphological aspects of interactions between microparticles and mammalian cells: intestinal uptake and onward movement. *Prog Histochem Cytochem.* 2012; 46(4): 185–252. <https://doi.org/10.1016/j.proghi.2011.11.001>.

Поступила/Received: 12.05.2025

Принята в печать/Accepted: 17.06.2025

Памяти Зулькарнаева Талгата Рахимьяновича



Зулькарнаев Талгат Рахимьянович – доктор медицинских наук, профессор, отличник здравоохранения России, заслуженный деятель науки Республики Башкортостан, врач-гигиенист, признанный специалист в области гигиены питания, диетологии и нутрициологии.

Зулькарнаев Т.Р. родился 1 сентября 1943 года в деревне Абдулмамбетово Абзелиловского района Башкирской АССР, в 1967 году окончил лечебный факультет Башкирского медицинского института имени XV-летия ВЛКСМ (ныне Башкирский государственный медицинский университет).

После окончания института до 1971 года работал в практическом здравоохранении, в том числе главным врачом Аскардовской центральной районной больницы в Абзелиловском районе.

Талгат Рахимьянович более 50 лет работал в БГМУ: прошел путь от ассистента до профессора, заведующего кафедрой гигиены, которой руководил более 25 лет. В течение 17 лет работал в составе приемной комиссии университета.

В 1999 году он успешно защитил докторскую диссертацию на тему «Комплексный подход к гигиеническому нормированию химических веществ с использованием материалов прогноза», в 2000 году ему присвоено звание профессора.

Профессор Зулькарнаев Т.Р. обосновал новые методы ускоренного определения токсикологических свойств новых химических веществ с применением компьютерных технологий. Им была создана специализированная лаборатория, где были глубоко исследованы новые антиоксиданты, антигельминтные препараты и другие группы соединений.

Под его руководством выполнялись научные исследования по актуальным проблемам гигиенической науки: особенности фактического питания городских и сельских жителей республики, состояние здоровья и физического развития детей и подростков школьного и дошкольного возраста, студенческой молодежи. Результаты научных исследований получили широкое внедрение в практическое здравоохранение.

Многогранна и общественная деятельность Талгата Рахимьяновича – с 1989 по 2004 годы он был главным диетологом Министерства здравоохранения Республики Башкортостан, являлся экспертом лицензионной комиссии при Министерстве здравоохранения Республики Башкортостан.

Профессор Зулькарнаев Т.Р. исполнял обязанности заместителя председателя проблемной комиссии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России «Проблемы охраны здоровья населения и организации медицинской помощи», входил в состав редакционной коллегии научно-практического журнала «Медицина труда и экология человека».

Под руководством профессора Зулькарнаева Т.Р. защищены 16 кандидатских и 3 докторские диссертации. Им опубликовано более 300 научных работ, получены патенты на изобретение.

В последние годы Талгат Рахимьянович проявлял интерес к цифровой нутрициологии, с его участием разработаны и получены свидетельства о государственной регистрации более 10

компьютерных программ, таких как «Нутриом-Оптима», «Нутриом-статус», «Нутриом-макро», «Нутриментум», «Расчет химического состава продуктов для организации питания в общеобразовательных учреждениях».

Талгат Рахимьянович отмечен рядом высоких наград за многолетний и плодотворный труд. Ему присвоено почетное звание «Отличник здравоохранения Российской Федерации», в 2003 году – «Заслуженный деятель науки Республики Башкортостан», а в 2014 году награжден Орденом Яна Коменского «За заслуги в образовании» Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ).

Профессор Талгат Рахимьянович Зулькарнаев обладал широким кругозором, высоким научным уровнем. Эрудиция, юмор, доброжелательность полностью захватывали внимание любой аудитории.

Для всех нас Талгат Рахимьянович останется примером ученого, врача, патриота России.

Руководство и коллектив ФБУН
«Уфимский НИИ медицины труда и
экологии человека»,
коллективы кафедр гигиены; терапии и
профессиональных болезней ФГБОУ ВО
БГМУ Минздрава России,
редколлегия журнала «Медицина труда и
экология человека»