



RUSSIAN MONTHLY PEER-REVIEWED
SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL
**PUBLIC HEALTH AND
LIFE ENVIRONMENT**

MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION

ISSN 2219-5238 (Print)
ISSN 2619-0788 (Online)

16+

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ И СРЕДА ОБИТАНИЯ

Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya – ZNiSO

Основан в 1993 г.

Established in 1993

№2

Том 34 · 2026

Vol. 34 · 2026

Журнал входит в рекомендованный Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации (ВАК) Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Журнал зарегистрирован в каталоге периодических изданий Ulrich's Periodicals Directory, входит в коллекцию Национальной медицинской библиотеки (США).

Журнал представлен на платформах агрегаторов «eLIBRARY.RU», «КиберЛенинка», входит в коллекцию реферативно-аналитической базы данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), баз данных: Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science, Scopus, PГБ, Dimensions, LENS.ORG, Google Scholar, VINITI RAN.

Москва • 2026

Здоровье населения и среда обитания –

ЗНЦО

Рецензируемый
научно-практический журнал
Том 34 № 2 2026

Выходит 12 раз в год

Основан в 1993 г.

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуни-
каций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации
средства массовой информации
ПИ № ФС 77-71110
от 22 сентября 2017 г. (печатное
издание)

Учредитель: Федеральное бюд-
жетное учреждение здравооо-
хранения «Федеральный центр
гигиены и эпидемиологии»
Федеральной службы по надзору
в сфере защиты прав потреби-
телей и благополучия человека
(ФБУЗ ФЦГиЗ Роспотребнадзора)

Цель: распространение основных
результатов научных исследова-
ний и практических достижений
в области гигиены, эпидемиоло-
гии, общественного здоровья
и здравоохранения, медицины
труда, социологии медицины,
медико-социальной экспертизы
и медико-социальной реабили-
тации на российском и междуна-
родном уровне.

Задачи журнала:

→ Расширять свою издательскую
деятельность путем повышения
географического охвата публи-
куемых материалов (в том числе
с помощью большего вовлечения
представителей международного
научного сообщества).
→ Неукоснительно следовать
принципам исследовательской
и издательской этики, беспри-
страстно оценивать и тщательно
отбирать публикации, для исклю-
чения неэтичных действий
или плагиата со стороны авторов,
нарушения общепринятых прин-
ципов проведения исследований.
→ Обеспечить свободу контента,
редколлегии и редсовета
журнала от коммерческого,
финансового или иного давления,
дискредитирующего его беспри-
страстность или снижающего
доверие к нему.

Все рукописи подвергаются
рецензированию.
Всем статьям присваивается
индивидуальный код DOI (Crossref
DOI prefix: 10.35627).

Для публикации в журнале: ста-
тьи в электронном виде должны
быть отправлены через личный
кабинет автора на сайте
<https://zniso.fcgi.ru/>

© ФБУЗ ФЦГиЗ Роспотребнадзора,
2026

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор А.Ю. Попова
Д.м.н., проф., Заслуженный врач Российской Федерации; Руководитель Федеральной службы по надзору в
сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главный государственный санитарный врач
Российской Федерации; заведующий кафедрой организации санитарно-эпидемиологической службы
ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования»
Минздрава России (г. Москва, Российская Федерация)
Заместитель главного редактора Р.К. Фридман
К.м.н.; главный врач ФБУЗ ФЦГиЗ Роспотребнадзора (г. Москва, Российская Федерация)
Заместитель главного редактора Г.М. Трухина (научный редактор)
Д.м.н., проф., Заслуженный деятель науки Российской Федерации; руководитель отдела
микробиологических методов исследования окружающей среды института комплексных проблем
гигиены ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора (г. Москва, Российская Федерация)
Ответственный секретарь Н.А. Горбачева
К.м.н.; заместитель заведующего учебно-издательским отделом ФБУЗ ФЦГиЗ Роспотребнадзора
(г. Москва, Российская Федерация)
В.Г. Акимкин д.м.н., проф., академик РАН, Заслуженный врач Российской Федерации; директор
ФБУН ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора; заведующий кафедрой дезинфектологии
ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский
Университет) (г. Москва, Российская Федерация)
Е.В. Ануфриева д.м.н., доц.; заместитель директора по научной работе ГАУ ДПО «Уральский институт
правления здравоохранением имени А.Б. Блохина»; главный детский внештатный
специалист по медицинской помощи в образовательных организациях Минздрава
России по Уральскому федеральному округу (г. Екатеринбург, Российская Федерация)
А.М. Большаков д.м.н., проф. (г. Москва, Российская Федерация)
Н.В. Зайцева д.м.н., проф., акад. РАН, Заслуженный деятель науки Российской Федерации; научный
руководитель ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками
здоровья населения» Роспотребнадзора (г. Пермь, Российская Федерация)
О.Ю. Милушкина д.м.н., доц.; проректор по учебной работе, заведующий кафедрой гигиены педиатрического
факультета ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России (г. Москва,
Российская Федерация)
Н.В. Рудаков д.м.н., проф., акад. РАЕН; директор ФБУН «Омский НИИ природно-очаговых инфекций»
Роспотребнадзора; заведующий кафедрой микробиологии, вирусологии и иммунологии
ФГБОУ ВО «Омский ГМУ» Минздрава России (г. Омск, Российская Федерация)
О.Е. Троценко д.м.н.; директор ФБУН «Хабаровский научно-исследовательский институт эпидемиологии
и микробиологии» Роспотребнадзора (г. Хабаровск, Российская Федерация)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

А.В. Алехнович д.м.н., проф.; заместитель начальника ФГБУ «Третий центральный военный клинический
госпиталь им. А.А. Вишневского» Минобороны России по исследовательской и научной
работе (г. Москва, Российская Федерация)
В.А. Алешкин д.б.н., проф., Заслуженный деятель науки Российской Федерации; научный руководитель
ФБУН «Московский НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Г.Н. Габричевского»
Роспотребнадзора (г. Москва, Российская Федерация)
С.В. Балаховов д.м.н., проф.; директор ФКУЗ «Иркутский научно-исследовательский противочумный
институт» Роспотребнадзора (г. Иркутск, Российская Федерация)
Н.А. Бокарева д.м.н., доц.; профессор кафедры гигиены педиатрического факультета ФГАОУ ВО
«РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России (г. Москва, Российская Федерация)
Е.Л. Борщук д.м.н., проф.; Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации; заведующий
кафедрой общественного здоровья и здравоохранения №1 ФГБОУ ВО «Оренбургский
государственный медицинский университет» Минздрава России (г. Оренбург,
Российская Федерация)
Н.И. Брико д.м.н., проф., акад. РАН, Заслуженный деятель науки Российской Федерации; директор
института общественного здоровья им. Ф.Ф. Эрисмана, заведующий кафедрой эпидемиологии
и доказательной медицины ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава
России (Сеченовский Университет) (г. Москва, Российская Федерация)
В.Б. Гурвич д.м.н., Заслуженный врач Российской Федерации; научный руководитель ФБУН
«Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих
промпредприятий» Роспотребнадзора (г. Екатеринбург, Российская Федерация)
Т.К. Дзагурова д.м.н.; заведующий лабораторией геморрагических лихорадок ФГАНУ «ФНЦИРИП
им. М.П. Чумакова РАН» (Институт полиомиелита) (г. Москва, Российская Федерация)
С.Н. Киселев д.м.н., проф.; проректор по учебно-воспитательной работе, заведующий кафедрой
общественного здоровья и здравоохранения ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный
медицинский университет» Минздрава России (г. Хабаровск, Российская Федерация)
О.В. Клепиков д.б.н., проф.; профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды ФГБОУ
ВО «Воронежский государственный университет» (г. Воронеж, Российская Федерация)
В.Т. Комов д.б.н., проф.; заместитель директора по научной работе ФГБУН «Институт биологии
внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН» (п. Борок, Ярославская обл., Российская Федерация)
Э.И. Коренберг д.б.н., проф., акад. РАЕН, Заслуженный деятель науки Российской Федерации; главный
научный сотрудник, заведующий лабораторией переносчиков инфекций ФГБУ «Научно-
исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Н.Ф. Гамалеи» Минздрава
России (г. Москва, Российская Федерация)
В.М. Корзун д.б.н.; старший научный сотрудник, заведующий зоолого-паразитологическим отделом
ФКУЗ «Иркутский ордена Трудового Красного Знамени НИИ противочумный институт
Сибири и Дальнего Востока» Роспотребнадзора (г. Иркутск, Российская Федерация)
Е.А. Кузьмина к.м.н.; заместитель главного врача ФБУЗ ФЦГиЗ Роспотребнадзора (г. Москва,
Российская Федерация)
В.В. Кутырев д.м.н., проф., акад. РАН; директор ФКУЗ «Российский научно-исследовательский противо-
чумный институт «Микроб»» Роспотребнадзора (г. Саратов, Российская Федерация)
Н.А. Лебедева-Несевра д.социол.н., доц.; заведующий лабораторией методов анализа социальных
рисков ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками
здоровья населения» Роспотребнадзора (г. Пермь, Российская Федерация)
А.В. Мельцер д.м.н., доц.; проректор по развитию регионального здравоохранения и медико-профиллак-
тическому направлению, заведующий кафедрой профилактической медицины и охраны
здоровья ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет
им. И.И. Мечникова» Минздрава России (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

А.Н. Покида	к.социол.н.; директор Научно-исследовательского центра социально-политического мониторинга Института общественных наук ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации» (Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации) (г. Москва, Российская Федерация)
Н.В. Полунина	д.м.н., проф., акад. РАН; заведующий кафедрой общественного здоровья и здравоохранения имени академика Ю.П. Лисицына педиатрического факультета ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России (г. Москва, Российская Федерация)
Л.В. Прокопенко	д.м.н., проф.; заведующая лабораторией физических факторов отдела по изучению гигиенических проблем в медицине труда ФГБУН «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова» (г. Москва, Российская Федерация)
И.К. Романович	д.м.н., проф., акад. РАН; директор ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Роспотребнадзора (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)
В.Ю. Семенов	д.м.н., проф.; заместитель директора по организационно-методической работе Института коронарной и сосудистой хирургии им. В.И. Бураковского ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России (г. Москва, Российская Федерация)
С.А. Судьин	д.социол.н., доц.; заведующий кафедрой общей социологии и социальной работы факультета социальных наук ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (г. Нижний Новгород, Российская Федерация)
А.В. Суров	д.б.н., членкор РАН; заместитель директора по науке, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией сравнительной этиологии биокommunikации ФГБУН «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова» РАН (г. Москва, Российская Федерация)
В.А. Тутельян	д.м.н., проф., акад. РАН, Заслуженный деятель науки Российской Федерации; научный руководитель ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи»; член Президиума РАН, главный внештатный специалист – диетолог Минздрава России, заведующий кафедрой гигиены питания и токсикологии ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), эксперт ВОЗ по безопасности пищи (г. Москва, Российская Федерация)
Л.А. Хляп	к.б.н.; старший научный сотрудник ФГБУН «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова» РАН (ИПЭЗ РАН) (г. Москва, Российская Федерация)
В.П. Чашин	д.м.н., проф., Заслуженный деятель науки Российской Федерации; главный научный сотрудник ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)
А.Б. Шевелев	д.б.н.; главный научный сотрудник группы биотехнологии и геномного редактирования ИОГен РАН (г. Москва, Российская Федерация)
Д.А. Шпилев	д.социол.н., доц.; профессор кафедры криминологии Нижегородской академии МВД России, профессор кафедры общей социологии и социальной работы факультета социальных наук ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» (г. Нижний Новгород, Российская Федерация)
М.Ю. Щелканов	д.б.н., доц.; директор ФГБНУ «Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Г.П. Сомова» Роспотребнадзора, заведующий базовой кафедрой эпидемиологии, микробиологии и паразитологии с Международным научно-образовательным Центром биологической безопасности в Институте наук о жизни и биомедицины ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»; заведующий лабораторией вирусологии ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН (г. Владивосток, Российская Федерация)
В.О. Щепин	д.м.н., проф., членкор РАН, Заслуженный деятель науки Российской Федерации; главный научный сотрудник, руководитель научного направления ФГБНУ «Национальный НИИ общественного здоровья имени Н.А. Семашко» (г. Москва, Российская Федерация)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

К. Баждарич	доктор психологии; старший научный сотрудник кафедры медицинской информатики медицинского факультета Университета Риеки (г. Риека, Хорватия)
А.Т. Досмухаметов	к.м.н., руководитель Управления международного сотрудничества, менеджмента образовательных и научных программ Филиала «Научно-практический центр санитарно-эпидемиологического экспертизы и мониторинга» (НПЦ СЭЭИМ) РГП на ПХВ «Национального Центра общественного здравоохранения» (НЦОЗ) Министерства здравоохранения Республики Казахстан (г. Алматы, Республика Казахстан)
В.С. Глушанко	д.м.н., заведующий кафедрой общественного здоровья и здравоохранения с курсом ФПК и ПК, профессор учреждения образования «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет» Министерства здравоохранения Республики Беларусь (г. Витебск, Республика Беларусь)
М.А. оглы Казимов	д.м.н., проф.; заведующий кафедрой общей гигиены и экологии Азербайджанского медицинского университета (г. Баку, Азербайджан)
Ю.П. Курхинен	д.б.н.; приглашенный ученый (программа исследований в области органической и эволюционной биологии), Хельсинкский университет, (Финляндия), ведущий научный сотрудник лаборатории ландшафтной экологии и охраны лесных экосистем Института леса Карельского научно-исследовательского центра РАН (г. Петрозаводск, Российская Федерация)
С.И. Сычик	к.м.н., доц.; директор Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены» (г. Минск, Беларусь)
И. Томассен	Sand. real. (аналит. химия), профессор Национального института гигиены труда (г. Осло, Норвегия); ведущий научный сотрудник лаборатории арктического биомониторинга САФУ (г. Архангельск, Российская Федерация)
Г. Ханн	доктор философии (мед.), профессор; председатель общественной организации «Форум имени Р. Коха и И.И. Мечникова», почетный профессор медицинского университета Шарите (г. Берлин, Германия)
А.М. Цацакис	доктор философии (органическая химия), доктор наук (биофармакология), профессор, иностранный член Российской академии наук, полноправный член Всемирной академии наук, почетный член Федерации европейских токсикологов и европейских обществ токсикологии (Eurotox); заведующий кафедрой токсикологии и судебно-медицинской экспертизы Школы медицины Университета Крита и Университетской клиники Ираклиона (г. Ираклион, Греция)
Ф.-М. Чжан	д.м.н., заведующий кафедрой микробиологии, директор Китайско-российского института инфекции и иммунологии при Харбинском медицинском университете; вице-президент Хэйлунцзянской академии медицинских наук (г. Харбин, Китай)

Здоровье населения и среда обитания – 37400

Рецензируемый
научно-практический журнал
Том 34 № 2 2026

Выходит 12 раз в год
Основен в 1993 г.

Все права защищены.
Перепечатка и любое воспроизведение материалов и иллюстраций в печатном или электронном виде из журнала ЗНиСО допускается только с письменного разрешения учредителя и издателя – ФБУЗ ФЦГиЗ Роспотребнадзора.
При использовании материалов ссылка на журнал ЗНиСО обязательна.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.
Ответственность за достоверность информации, содержащейся в рекламных материалах, несут рекламодатели.

Контакты редакции:
117105, Москва, Варшавское шоссе, д. 19А
E-mail: zniso@fcgie.ru
Тел.: +7 (495) 633-1817 доб. 240
факс: +7 (495) 954-0310
Сайт журнала: <https://zniso.fcgie.ru/>

Издатель:
ФБУЗ ФЦГиЗ Роспотребнадзора
117105, Москва, Варшавское шоссе, д. 19А
E-mail: gsen@fcgie.ru
Тел.: +7 (495) 954-45-36
Сайт организации: fcgie.ru

Редактор А.С. Семенова
Корректор Л.А. Зелескон
Переводчик О.Н. Лехнина
Верстка Е.В. Ломанова

Журнал распространяется по подписке
Подписной индекс по каталогу агентства «Урал-Пресс» – 40682
Статьи доступны по адресу: www.elibrary.ru
Подписка на электронную версию журнала: www.elibrary.ru

По вопросам размещения рекламы в номере обращаться: zniso@fcgie.ru, тел.: +7 (495) 633-1817

Опубликовано 27.02.2026
Формат издания 60x84/8
Печ. л. 12,5
Тираж 1000 экз.
Цена свободная

Здоровье населения и среда обитания. 2026. Т. 34. № 2. С. 7–100.

Отпечатано в типографии
ФБУЗ ФЦГиЗ Роспотребнадзора,
117105, г. Москва, Варшавское ш., д. 19А

© ФБУЗ ФЦГиЗ Роспотребнадзора,
2026

Zdorov'e Naseleniya
i Sreda Obitaniya –
ZNiSO

Public Health and Life
Environment – PH&LE

Russian monthly peer-reviewed
scientific and practical journal

Volume 34, Issue 2, 2026

Established in 1993

The journal is registered by the
Federal Service for Supervision
in the Sphere of Telecom,
Information Technologies and Mass
Communications (Roskomnadzor).
Certificate of Mass Media
Registration
PI No. FS 77-71110 of September
22, 2017 (print edition)

Founder: Federal Center for
Hygiene and Epidemiology, Federal
Budgetary Health Institution
of the Federal Service for
Surveillance on Consumer Rights
Protection and Human Wellbeing
(Rospotrebnadzor)

The purpose of the journal is to
publish main results of scientific
research and practical achievements
in hygiene, epidemiology, public
health and health care, occupational
medicine, sociology of medicine,
medical and social expertise, and
medical and social rehabilitation
at the national and international
levels.

The main objectives of the journal are:
★ to broaden its publishing
activities by expanding the
geographical coverage of
published data (including a greater
involvement of representatives
of the international scientific
community;
★ to strictly follow the principles of
research and publishing ethics, to
impartially evaluate and carefully
select manuscripts in order to
eliminate unethical research
practices and behavior of authors
and to avoid plagiarism; and
★ to ensure the freedom of the
content, editorial board and
editorial council of the journal
from commercial, financial or
other pressure that discredits
its impartiality or undermines
confidence in it.

All manuscripts are peer reviewed.
All articles are assigned digital
object identifiers (Crossref DOI
prefix: 10.35627)

Electronic manuscript submission at
<https://zniso.fcgi.ru>

© Federal Center for Hygiene
and Epidemiology of
Rospotrebnadzor, 2026

EDITORIAL BOARD

- Anna Yu. Popova, Editor-in-Chief
Dr. Sci. (Med.), Professor, Honored Doctor of the Russian Federation; Head of the Federal Service
for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Head of the Department
for Organization of Sanitary and Epidemiological Service, Russian Medical Academy of Continuous
Professional Education, Moscow, Russian Federation
- Roman K. Friedman, Deputy Editor-in-Chief
Cand. Sci. (Med.); Head Doctor of the Federal Center for Hygiene and Epidemiology, Moscow,
Russian Federation
- Galina M. Trukhina, Deputy Editor-in-Chief (Scientific Editor)
Dr. Sci. (Med.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation; Head of the Department of
Microbiological Methods of Environmental Research, Institute of Complex Problems of Hygiene,
F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Moscow, Russian Federation
- Nataliya A. Gorbacheva, Executive Secretary
Cand. Sci. (Med.); Deputy Head of the Department for Educational and Editorial Activities, Federal
Center for Hygiene and Epidemiology, Moscow, Russian Federation
- Vasily G. Akimkin Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences,
Honored Doctor of the Russian Federation; Director of the Central Research
Institute of Epidemiology; Head of the Department of Disinfectology,
I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian
Federation
- Elena V. Anufrieva Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof.; Deputy Director for Research, A.B. Blokhin Ural
(Scientific Editor) Institute of Health Care Management; Chief Freelance Specialist in Medical
Care in Educational Institutions of the Russian Ministry of Health in the Ural
Federal District, Yekaterinburg, Russian Federation
- Alexey M. Bolshakov Dr. Sci. (Med.), Professor, Moscow, Russian Federation
- Nina V. Zaitseva Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of
Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation; Scientific Director
of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk
Management Technologies, Perm, Russian Federation
- Olga Yu. Milushkina Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Vice-Rector for Academic Affairs, Head of the
Department of Hygiene, Faculty of Pediatrics, N.I. Pirogov Russian National
Research Medical University, Moscow, Russian Federation
- Nikolai V. Rudakov Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of
Natural Sciences; Director of the Omsk Research Institute of Natural
Focal Infections; Head of the Department of Microbiology, Virology and
Immunology, Omsk State Medical University, Omsk, Russian Federation
- Olga E. Trotsenko Dr. Sci. (Med.), Director of the Khabarovsk Scientific Research Institute of
Epidemiology and Microbiology, Khabarovsk, Russian Federation

EDITORIAL COUNCIL

- Vladimir A. Aleshkin Dr. Sci. (Biol.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation; Scientific
Director of Gabrichesky Research Institute of Epidemiology and Microbiology,
Moscow, Russian Federation
- Alexander V. Alekhovich Dr. Sci. (Med.), Professor; Deputy Head for Research and Scientific Work,
Vishnevsky Third Central Military Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation
- Sergey A. Balakhonov Dr. Sci. (Med.), Professor; Director of Irkutsk Anti-Plague Research Institute,
Irkutsk, Russian Federation
- Natalia A. Bokareva Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof.; Professor of the Department of Hygiene, Faculty of
Pediatrics, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow,
Russian Federation
- Evgeniy L. Borshchuk Dr. Sci. (Med.), Professor; Honored Worker of the Higher School of the Russian
Federation. Head of the First Department of Public Health and Health Care,
Orenburg State Medical University, Orenburg, Russian Federation
- Nikolai I. Briko Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored
Scientist of the Russian Federation; Director of F.F. Erisman Institute of Public
Health; Head of the Department of Epidemiology and Evidence-Based Medicine,
I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation
- Vladimir B. Gurvich Dr. Sci. (Med.), Honored Doctor of the Russian Federation; Scientific Director,
Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in
Industrial Workers, Yekaterinburg, Russian Federation
- Tamara K. Dzagurova Dr. Sci. (Med.), Head of the Laboratory of Hemorrhagic Fevers, Chumakov
Federal Scientific Center for Research and Development of Immunobiological
Preparations (Institut of Polyomielitis), Moscow, Russian Federation
- Sergey N. Kiselev Dr. Sci. (Med.), Professor; Vice-Rector for Education, Head of the Department
of Public Health and Health Care, Far Eastern State Medical University,
Khabarovsk, Russian Federation
- Oleg V. Klepikov Dr. Sci. (Biol.), Professor; Professor of the Department of Geoecology and
Environmental Monitoring Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation
- Victor T. Komov Dr. Sci. (Biol.), Professor; Deputy Director for Research, I.D. Papanin Institute of
Biology of Inland Waters, Borok, Yaroslavl Region, Russian Federation
- Eduard I. Korenberg Dr. Sci. (Biol.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural
Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation; Chief Researcher, Head of
the Laboratory of Disease Vectors, Gamaleya Research Institute of Epidemiology
and Microbiology, Moscow, Russian Federation
- Vladimir M. Korzun Dr. Sci. (Biol.); Senior Researcher, Head of the Zoological and Parasitological
Department, Irkutsk Anti-Plague Research Institute of Siberia and the Far East,
Irkutsk, Russian Federation
- Elena A. Kuzmina Cand. Sci. (Med.); Deputy Head Doctor, Federal Center for Hygiene and
Epidemiology, Moscow, Russian Federation
- Vladimir V. Kuttyrev Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; Director
of the Russian Anti-Plague Research Institute "Microbe", Saratov, Russian Federation
- Natalia A. Lebedeva-Neseyra Dr. Sci. (Sociol.), Assoc. Prof.; Head of the Laboratory of Social Risk
Analysis Methods, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health
Risk Management Technologies, Perm, Russian Federation

Alexander V. Meltser	Dr. Sci. (Med.), Professor; Vice-Rector for Development of Regional Health Care and Preventive Medicine, Head of the Department of Preventive Medicine and Health Protection, I.I. Mechnikov North-Western State Medical University, Saint Petersburg, Russian Federation
Andrei N. Pokida	Cand. Sci. (Sociol.), Director of the Research Center for Socio-Political Monitoring, Institute of Social Sciences, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russian Federation
Natalia V. Polunina	Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; Head of Yu.P. Lisitsyn Department of Public Health and Health Care, Pediatric Faculty, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation
Lyudmila V. Prokopenko	Dr. Sci. (Med.), Professor; Chief Researcher, Department for the Study of Hygienic Problems in Occupational Health, N.F. Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russian Federation
Ivan K. Romanovich	Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; Director of St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene named after Professor P.V. Ramzaev, Saint Petersburg, Russian Federation
Vladimir Yu. Semenov	Dr. Sci. (Med.), Professor; Deputy Director for Organizational and Methodological Work, V.I. Burakovskiy Institute of Cardiac Surgery, A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, Russian Federation
Sergey A. Sudyin	Dr. Sci. (Sociol.); Head of the Department of General Sociology and Social Work, Faculty of Social Sciences, National Research Lobachevsky State University, Nizhny Novgorod, Russian Federation
Alexey V. Surov	Dr. Sci. (Biol.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences; Deputy Director for Science, Chief Researcher, Head of the Laboratory for Comparative Ethology of Biocommunication, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russian Federation
Victor A. Tutelyan	Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation; Scientific Director of the Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation
Liudmila A. Khlyap	Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Institute of Ecology and Evolution named after A.N. Severtsov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
Valery P. Chashchin	Dr. Sci. (Med.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation; Chief Researcher, Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, Russian Federation
Alexey B. Shevelev	Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Biotechnology and Genomic Editing Group, N.I. Vavilov Institute of General Genetics, Moscow, Russian Federation
Dmitry A. Shpilev	Dr. Sci. (Sociol.), Assoc. Prof.; Professor of the Department of General Sociology and Social Work, Faculty of Social Sciences, N.I. Lobachevsky National Research State University, Nizhny Novgorod, Russian Federation
Mikhail Yu. Shchelkanov	Dr. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.; Director of G.P. Somov Institute of Epidemiology and Microbiology, Head of the Basic Department of Epidemiology, Microbiology and Parasitology with the International Research and Educational Center for Biological Safety, School of Life Sciences and Biomedicine, Far Eastern Federal University; Head of the Virology Laboratory, Federal Research Center for East Asia Terrestrial Biota Biodiversity, Vladivostok, Russian Federation
Vladimir O. Shchepin	Dr. Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation; Chief Researcher, Head of Research Direction, N.A. Semashko National Research Institute of Public Health, Moscow, Russian Federation

FOREIGN EDITORIAL COUNCIL

Ksenia Bazhdarich	PhD, Senior Researcher, Medical Informatics Department, Faculty of Medicine, University of Rijeka, Rijeka, Croatia
Askhat T. Dosmukhametov	Cand. Sci. (Med.), Head of the Department of International Cooperation, Management of Educational and Research Programs, Scientific and Practical Center for Sanitary and Epidemiological Expertise and Monitoring, National Center of Public Health Care of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Republic of Kazakhstan
Vasilii S. Glushanko	Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Public Health and Health Care with the course of the Faculty of Advanced Training and Retraining, Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University of the Ministry of Health of the Republic of Belarus, Vitebsk, Republic of Belarus
Mirza A. Kazimov	Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Health and Environment, Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan
Juri P. Kurhinen	Dr. Sci. (Biol.), Visiting Scientist, Research Program in Organismal and Evolutionary Biology, University of Helsinki, Finland; Leading Researcher, Laboratory of Landscape Ecology and Protection of Forest Ecosystems, Forest Institute, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russian Federation
Yngvar Thomassen	Candidatus realium (Chem.), Senior Advisor, National Institute of Occupational Health, Oslo, Norway; Leading Scientist, Arctic Biomonitoring Laboratory, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation
Aristidis Michael Tsatsakis	PhD (Org-Chem), DSc (Biol-Pharm), Professor, Foreign Member of the Russian Academy of Sciences, Full Member of the World Academy of Sciences, Honorary Member of EUROTOX; Director of the Department of Toxicology and Forensic Science, School of Medicine, University of Crete and the University Hospital of Heraklion, Heraklion, Greece
Sergey I. Sychik	Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof.; Director of the Republican Scientific and Practical Center for Hygiene, Minsk, Republic of Belarus
Helmuth Hahn	MD, PhD, Professor, President of the R. Koch Medical Society, Berlin, Germany
Feng-Min Zhang	Dr. Sci. (Med.), Chairman of the Department of Microbiology, Director of the China-Russia Institute of Infection and Immunology, Harbin Medical University; Vice President of Heilongjiang Academy of Medical Sciences, Harbin, China

**Zdorov'e Naseleniya
i Sreda Obitaniya –
ZNiSO**

**Public Health and Life
Environment – PH&LE**

Russian monthly peer-reviewed
scientific and practical journal

Volume 34, Issue 2 2026

Established in 1993

All rights reserved. Reprinting and any reproduction of materials and illustrations in printed or electronic form is allowed only with the written permission of the founder and publisher – Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor.

A reference to the journal is required when quoting.

Editorial opinion may not coincide with the opinion of the authors. Advertisers are solely responsible for the contents of advertising materials.

Editorial Contacts:
Public Health and Life Environment
Federal Center for Hygiene and
Epidemiology
19A Varshavskoe Shosse, Moscow,
117105, Russian Federation
E-mail: zniso@fcgie.ru
Tel.: +7 495 633-1817 Ext. 240
Fax: +7 495 954-0310
Website: zniso.fcgie.ru/

Publisher:
Federal Center for Hygiene and
Epidemiology
19A Varshavskoe Shosse, Moscow,
117105, Russian Federation
E-mail: gsen@fcgie.ru
Tel.: +7 495 954-4536
Website: fcgie.ru/

Editor Antonina S. Semenova
Proofreader Lev A. Zelekson
Interpreter Olga N. Lezhnina
Layout Elena V. Lomanova

The journal is distributed by
subscription.
"Ural-Press" Agency Catalog
subscription index – 40682
Articles are available at
www.elibrary.ru
Subscription to the electronic
version of the journal at
www.elibrary.ru
For advertising in the journal,
please write to zniso@fcgie.ru.

Published: February 27, 2026
Publication format: 60x84/8
Printed sheets: 12,5
Circulation: 1,000 copies
Free price

Zdorov'e Naseleniya i Sreda
Obitaniya. 2026;34(2):7–100.

Published at the Printing House of
the Federal Center for Hygiene and
Epidemiology, 19A Varshavskoe
Shosse, Moscow, 117105

© Federal Center for Hygiene
and Epidemiology of
Rospotrebnadzor, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ И СОЦИАЛЬНОЙ ГИГИЕНЫ

Васильева Т.П., Каримов Д.О., Рябова Ю.В. Комплексный анализ социальных детерминант здоровья регионов России методами машинного обучения	7
Ефимова Н.В., Зайкова З.А., Савченков М.Ф. Выявление зон риска врожденных пороков развития на уровне макрорегиона	17
Суслин С.А., Баринаева Ж.В., Сиротко М.Л. Заболеваемость меланомой кожи населения старшего возраста в Самарской области	26
Бебякова Н.А., Кригер Е.А., Левицкий С.Н., Шабалина И.А., Поскотинова Л.В., Зеленцов Р.Н., Синайская М.А., Моисеева А.А., Кривоногова Е.В., Кривоногова О.В., Печинкина Н.И., Звездина Ю.М., Кудрявцев А.В. Связь генетических факторов регуляции артериального давления и параметров индивидуальной жизнеспособности у пожилых жителей европейского Севера России	36

ГИГИЕНА ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ

Абольян Л.В., Юсупова А.Р., Рюк В.В., Сыркин Л.Д., Судьенков И.В. Анализ качества жизни и его предикторов среди студентов-медиков разных курсов обучения в образовательном учреждении высшего медицинского образования	50
Индиравати Ш.М., Салмах У., Ашар Т., Панджаитан А.М., Ситуморанг Р.Ф.Р., Лестари А.Р. Базовые санитарные условия и личная гигиена: факторы риска задержки роста в прибрежных районах Северной Суматры	60

КОММУНАЛЬНАЯ ГИГИЕНА

Бугаева М.С., Бондарев О.И., Герус А.Ю., Кислицына В.В., Ликонцева Ю.С. Экологические риски и морфологические особенности канцерогенеза у населения промышленного города	70
Мироненко О.В., Носков С.Н., Магомедов Х.К., Федорова Е.А., Обухов Д.А. Сравнительная гигиеническая характеристика российских технологий автоклавирования и сжигания медицинских отходов классов Б и В	81

ЭПИДЕМИОЛОГИЯ

Михайлова О.М., Бугоркова С.А. Возможность применения прогнозно-ориентированного подхода для повышения эффективности мероприятий по специфической профилактике чумы в природных очагах Российской Федерации	93
---	----

CONTENTS

ISSUES OF MANAGEMENT AND PUBLIC HEALTH

Vasilyeva T.P., Karimov D.O., Ryabova Yu.V. Comprehensive analysis of social determinants of health in Russian regions using machine learning	7
Efimova N.V., Zaikova Z.A., Savchenkov M.F. Identification of the areas at risk of congenital malformations at the macroregional level	17
Suslin S.A., Barinova Zh.V., Sirotko M.L. Incidence of melanoma skin cancer in the elderly population of the Samara Region	26
Bebyakova N.A., Krieger E.A., Levitskiy S.N., Shabalina I.A., Poskotinova L.V., Zelentsov R.N., Sinayskaya M.A., Moiseeva A.A., Krivonogova E.V., Krivonogova O.V., Pechinkina N.I., Zvezdina J.M., Kudryavtsev A.V. Association between genetic factors of blood pressure regulation and intrinsic capacity parameters in elderly residents of the European North of Russia	36

PEDIATRIC HYGIENE

Abolyan L.V., Yusupova A.R., Royuk V.V., Syrkin L.D., Sudenkov I.V. Analysis of the quality of life and its predictors among different year medical university students	50
Indirawati S.M., Salmah U., Ashar T., Panjaitan A.M., Situmorang R.F.R., Lestari A.R. Basic sanitation and personal hygiene: Risk factors for stunting in North Sumatra coastal areas	60

COMMUNAL HYGIENE

Bugaeva M.S., Bondarev O.I., Gerus A.Yu., Kislitsyna V.V., Likontseva J.S. Environmental risks and morphological features of carcinogenesis in the population of an industrial city	70
Mironenko O.V., Noskov S.N., Magomedov Kh.K., Fedorova E.A., Obukhov D.A. Comparative hygienic characteristics of Russian technologies for autoclaving and pyrolysis of categories B and C medical waste	81

EPIDEMIOLOGY

Mikhailova O.M., Bugorkova S.A. Feasibility of applying a prediction-based approach for improving efficiency of specific plague preventive measures in natural foci of the Russian Federation	93
---	----



Комплексный анализ социальных детерминант здоровья регионов России методами машинного обучения

Т.П. Васильева¹, Д.О. Каримов^{1,2}, Ю.В. Рябова²

¹ ФГБНУ «Национальный НИИ общественного здоровья имени Н.А. Семашко»,
ул. Воронцово поле, д. 12, стр. 1, г. Москва, 105064, Российская Федерация

² ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека»,
ул. Степана Кувыкина, д. 94, г. Уфа, 450106, Российская Федерация

Резюме

Введение. Социальные детерминанты – первопричинные силы, которые формируют социальный градиент здоровья и очерчивают пределы эффективности сугубо клинических вмешательств. Инструментарий больших данных и машинного обучения обеспечивает точную, воспроизводимую оценку их вклада и помогает выделить осмысленные приоритеты политики, направленной на сужение разрывов в ожидаемой продолжительности жизни.

Цель исследования: количественно оценить и ранжировать вклад социальных, экономических, демографических и экологических детерминант в вариацию индекса общественного здоровья регионов России, выявив факторы, критичные для управленческих решений.

Материалы и методы. Сформирован панельный датасет по субъектам РФ за 2010–2024 гг.; выполнены нормирование показателей и транслитерация категориальных признаков. Построена модель прогноза индекса общественного здоровья методом градиентного бустинга на решающих деревьях; интерпретация результата с детальным анализом вклада отдельных детерминант проведена по технологии, опирающейся на теорию значений Шепли.

Результаты. Наибольший вклад в вариацию индекса общественного здоровья внесли показатели смертности (общее число умерших и смертность от внешних причин), уровень бедности и коэффициент доступности жилья; дополнительное, но значимое влияние показали охват школьников горячим питанием, расходы на охрану окружающей среды и показатели криминогенной обстановки. Параметры, традиционно используемые как маркеры благосостояния (среднедушевые доходы и уровень безработицы), в присутствии интегрального показателя бедности продемонстрировали статистическую избыточность. Выявлен выраженный межрегиональный градиент, указывающий на существенный вклад территориальной специфики.

Заключение. Комплексный учет социально-экономических, демографических и инфраструктурных индикаторов с применением методов машинного обучения формирует надежную основу для прогнозирования и интерпретации региональных различий, а стратегии управления общественным здоровьем должны быть адаптированы к специфике региональных субъектов.

Ключевые слова: социальные детерминанты здоровья, индекс общественного здоровья, SHAP-анализ, машинное обучение, социально-экономические показатели.

Для цитирования: Васильева Т.П., Каримов Д.О., Рябова Ю.В. Комплексный анализ социальных детерминант здоровья регионов России методами машинного обучения // Здоровье населения и среда обитания. 2026. Т. 34. № 2. С. 7–16. doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-7-16

Comprehensive Analysis of Social Determinants of Health in Russian Regions Using Machine Learning

Tatyana P. Vasilyeva,¹ Denis O. Karimov,^{1,2} Yuliya V. Ryabova²

¹ N.A. Semashko National Research Institute of Public Health,
Bldg 1, 12 Vorontsovo Pole Street, Moscow, 105064, Russian Federation

² Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology,
94 Stepan Kuvykin Street, Ufa, 450106, Russian Federation

Summary

Introduction: Social determinants are fundamental causes of causes that shape the social gradient of health and delineate the limits of effectiveness of purely clinical interventions. The toolkit of big data and machine learning enables precise, reproducible evaluation of their contributions and helps identify meaningful policy priorities aimed at narrowing gaps in life expectancy.

Objective: To quantitatively assess and rank contributions of social, economic, demographic, and environmental determinants to the variation of the Public Health Index (PHI) across Russian regions and identify factors critical for decision-making.

Materials and Methods: A panel dataset was compiled for the regions of the Russian Federation for 2010–2024. Indicator normalization and transliteration of categorical variables were performed. A predictive model for the Public Health Index was developed using gradient boosting on decision trees. Interpretation of the results, including detailed analysis of the contribution of individual determinants, was carried out using a Shapley value-based technique.

Results: We established that mortality indicators (the total number of deaths and mortality from external causes), the poverty level, and the housing affordability index contributed the most to the variations in the Public Health Index. School meal coverage, environmental protection expenditures, and crime indicators demonstrated additional, yet significant effects. The parameters traditionally used as markers of socioeconomic well-being (per capita income and unemployment rate) demonstrated statistical redundancy when the poverty variable was included in the model. A pronounced interregional gradient was identified, indicating a substantial influence of territorial specificity.

Conclusions: A comprehensive analysis of socioeconomic, demographic, and infrastructural indicators using machine learning methods provides a robust foundation for forecasting and interpreting regional differences. Public health management strategies should be adapted to the specific features of each constituent entity.

Keywords: social determinants of health, Public Health Index, SHAP analysis, machine learning, socioeconomic indicators.

Cite as: Vasilyeva TP, Karimov DO, Ryabova YuV. Comprehensive analysis of social determinants of health in Russian regions using machine learning. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2026;34(2):7–16. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-7-16

Введение. Социальные детерминанты здоровья сегодня рассматриваются как фундаментальные «причины причин», формируя тот базис, на котором разворачиваются индивидуальные биологические и поведенческие факторы риска. Согласно определению ВОЗ¹, к таким социальным детерминантам относят условия жизни и труда, уровень дохода, качество образования, жилищные факторы, а также более широкие социально-экономические и культурные особенности. Развитие междисциплинарных подходов в 2010–2020-е гг. привело к осознанию, что вклад медицинской системы напрямую в общую продолжительность жизни населения ограничен, а большинство неинфекционных заболеваний – от сердечно-сосудистых патологий до психических расстройств – тесно зависит от условий социума [1]. Итоговый доклад¹ Комиссии ВОЗ по социальным детерминантам здоровья (2008) способствовал повороту взглядов к политике, направленной на устранение неравенств, порождаемых бедностью, дискриминацией и плохими условиями труда.

Теоретическую основу в исследовании детерминант заложила модель Dahlgren – Whitehead (1991), показывающая множественные уровни влияния: от врожденных характеристик и поведенческих привычек до социальных сетей, окружения и широкой экономико-политической системы; однако в эпоху цифровизации всех аспектов жизни классическая модель требует переосмысления [2]. Как отмечается в современных исследованиях, цифровые детерминанты (digital determinants) пронизывают все уровни «радужной» модели, формируя новые механизмы возникновения неравенств в здоровье [2]. В более детализированном подходе ВОЗ выделяют структурные факторы (макроэкономическая политика, социальная стратификация, распределение доходов, уровень образования) и промежуточные (материальные условия обитания, качество среды, доступ к услугам, поведенческие практики), взаимодействие которых формирует социальный градиент здоровья [1]. Наблюдаемый практически во всех странах градиент демонстрирует, что при переходе от низших социальных групп к высшим их совокупные показатели здоровья улучшаются, а продолжительность жизни возрастает.

Уровень дохода и экономическое неравенство признаны одним из главных факторов, определяющих смертность и заболеваемость. Исследование, выполненное Chetty et al. с использованием 1,4 миллиарда деидентифицированных налоговых записей в период с 1999 по 2014 г., сделанных в США, показало колоссальный разрыв по ожидаемой продолжительности жизни между самыми богатыми и самыми бедными, достигающий у мужчин 14,6 года для мужчин и 10,1 года для женщин [3]. Материальная депривация влияет на здоровье через хронизацию стресса, худшее питание, опасные условия жизни и ограниченный доступ к медицинским услугам. Причем не только абсолютный уровень дохода, но и уровень неравенства в обществе может усугублять неблагоприятные тенденции. Яркой иллюстрацией

этого тезиса служит отечественное исследование: показано, что, несмотря на восстановление экономики после кризиса 1990-х гг., прогресс в сфере здоровья населения оставался замедленным, а разрыв между уровнем валового внутреннего продукта и показателями здоровья сохранялся [4]. Авторы объясняют это внутрирегиональным неравенством, а именно значительными колебаниями доходов и неравным доступом к медицинской помощи внутри регионов, что подтверждает ключевую роль фактора неравенства помимо абсолютного уровня благосостояния [4]. Кроме того, в поперечном исследовании с привлечением 20 497 человек в возрасте от 40 лет и старше показан характер связи между уровнем дохода и рисками смертности: участники с более низким доходом имели более высокую вероятность смертности от всех причин [5]. Полученный коллективом авторов результат подчеркивает важность рассмотрения нелинейной взаимосвязи между доходом семьи и смертностью при устранении социально-экономических различий в области здравоохранения.

Следующий важный фактор – образование, которое исследователи нередко трактуют как «социальную прививку» от болезней. Систематический метаанализ 603 работ [6] свидетельствует о том, что каждый дополнительный год обучения снижает риск смерти у взрослых на 1,9 %. Причем в молодом и среднем возрасте этот эффект достигает 3 % на год обучения, что обеспечивает долгосрочный положительный эффект на показатели здоровья. У образованных людей выше доходы, они в большей степени осведомлены о профилактике и склонны к здоровым привычкам, а их дети реже болеют благодаря грамотному уходу. Новейшие данные из стран с переходной экономикой подтверждают, что образовательное неравенство остается одним из ключевых предикторов различий в продолжительности жизни – наряду с неравенством в доходах и выбросами CO₂ [7]. Кроме того, масштабное исследование в Китае с привлечением 1 283 774 жителей материковой части страны из 31 провинции возрастом 35–75 лет, разделенные на четыре отдельные когорты, родившиеся в 1940-х, 1950-х, 1960-х и 1970-х годах, показало, что более низкий уровень образования связан с более высоким риском смерти от всех причин [8].

Занятость и качество труда также напрямую воздействуют на смертность, особенно в трудоспособном возрасте. Потеря работы и длительная безработица повышают риск сердечно-сосудистых заболеваний и депрессий [9], а вредные условия труда (контакт с токсинами, опасные производства) приводят к росту профессиональных заболеваний и травматизма [10]. В России около 30–50 % неблагоприятной динамики смертности трудоспособного населения объясняется факторами труда и безопасностью жизнедеятельности [11]. На примере популяционной французской когорты, в которую было включено 131 186 взрослых в период с 2012 по 2021 г., показано, что долгосрочная

¹ World Health Organization. Closing the gap in a generation: Health equity through action on the social determinants of health. Commission on Social Determinants of Health. WHO; 2008. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-IER-CSDH-08.1> (дата обращения: 05.12.2025).

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-7-16>
Оригинальная исследовательская статья

безработица увеличивает распространенность сердечно-сосудистых событий через пути, включая, но не ограничиваясь, чрезмерным воздействием распространенных факторов риска [12]. В другом исследовании за период 2001–2019 гг., учитывая несколько экономических показателей (включая безработицу), обнаружили, что экономическая неопределенность сама по себе тесно связана со смертностью, связанной с заболеваниями кровеносной системы, ишемической болезнью сердца и цереброваскулярными заболеваниями [13].

Не менее значимыми оказываются жилищные условия, включая качество самого дома (сырость, скученность, отсутствие отопления) и экологию района проживания. Некомфортное жилье ассоциируется с повышенной заболеваемостью респираторными болезнями и ростом психоэмоционального стресса [14]. В загрязненных районах выше распространенность астмы и сердечно-легочных патологий; дефицит зеленых зон снижает активность населения. Более того, неравномерный доступ к «здоровой пище» в некоторых городских кварталах ведет к росту ожирения и сопутствующих хронических болезней. Мета-анализы показывают, что загрязнение воздуха и шумовое загрязнение значительно повышают риски сердечно-сосудистых заболеваний, особенно среди социально уязвимых групп [15, 16].

Социальная изоляция и недостаток поддержки со стороны близких становятся отдельным фактором риска, сравнимым по негативному воздействию с курением или избыточной массой тела [17]. Систематические обзоры показывают, что у одиноких риск преждевременной смерти на 25–30 % выше, чем у тех, кто имеет развитые сети контактов. На уровне сообществ социальный капитал (доверие, взаимопомощь) способствует лучшей адаптации к эпидемиям, более эффективным профилактическим мероприятиям и снижению психического стресса. Недавние метаанализы подтверждают, что социальная изоляция увеличивает риск смертности на 30 % и более, причем этот эффект сопоставим с курением и артериальной гипертензией [18, 19].

Международные сопоставления свидетельствуют о неравномерном распределении социальных детерминант и соответственно об отличающихся показателях здоровья. В западноевропейских странах наблюдаются относительно высокие средние уровни здоровья, но сохраняется «скандинавский парадокс» – при общей развитости систем соц-обеспечения все же имеются заметные градиенты по доходу и образованию [20]. Напротив, в США отмечаются одни из самых высоких уровней неравенства в здоровье среди развитых стран, а разрывы в продолжительности жизни между бедными и богатыми американцами могут достигать 10–15 лет [3]. Анализ данных 27 европейских стран показал, что за 1990–2010-е гг. относительные различия в смертности между группами образования во многих государствах даже увеличились [21]. Тем не менее в ряде стран (например, Финляндии) вложения в образование и адресные программы

для уязвимых групп позволили более равномерно повысить продолжительность жизни.

Развитие технологий в период 2015–2024 гг. обеспечило появление новых инструментов для изучения влияния социальных факторов. Развитие Big Data и методов машинного обучения (ML) позволило включать в анализ не только демографические и экономические показатели, но и данные социальных сетей, геоинформационные сведения о благоустройстве районов, цифровые следы населения [22]. Такие подходы помогают тоньше вычленять взаимосвязи между бедностью, экологическими рисками, социальной изоляцией и конкретными показателями смертности или заболеваемости, а также точнее определять целевые группы для профилактических программ. Помимо прогнозов, ML дает возможность выявлять скрытые паттерны в больших массивах данных: например, разложить вклад условий труда и уровня жизни в динамику смертности трудоспособного населения [11]. Исследования последних лет демонстрируют потенциал ML для субтипизации социальных детерминант, выявления высокорисковых кластеров и повышения таргетированности программ здравоохранения [23, 24].

Анализ данных последних лет позволяет утверждать, что здоровье напрямую определяется совокупностью социально-экономических условий, а вмешательства, ориентированные лишь на клиническую медицину, зачастую не способны сократить фундаментальные разрывы в продолжительности жизни. Международный и российский опыт иллюстрирует: инвестиции в образование, борьбу с бедностью, улучшение жилищных условий и формирование социальной сплоченности оказываются наиболее результативными стратегиями профилактики. Акцент на социальных детерминантах здоровья – ключ к реализации принципов «Здоровье во всех политиках», провозглашенных ВОЗ², и к достижению долгосрочных целей по повышению благополучия населения. Таким образом, данные популяционных исследований свидетельствуют о том, что меры социально-экономической политики могут оказывать более выраженное влияние на общественное здоровье, чем узкомедицинские вмешательства.

Таким образом, **цель** настоящего исследования – количественно оценить и ранжировать вклад социальных, экономических, демографических и экологических детерминант в вариацию индекса общественного здоровья регионов России, выявив факторы, критичные для управленческих решений.

Материалы и методы. В исследовании была разработана и применена методика комплексного учета социальных, экономических, демографических и экологических факторов, способных оказывать влияние на показатели общественного здоровья в субъектах Российской Федерации. Сопоставимый по логике построения подход, использующий градиентный бустинг с деревьями решений и последующую интерпретацию вклада предикторов,

² World Health Organization; Government of South Australia. Adelaide Statement II on Health in All Policies: Implementing the Sustainable Development Agenda through good governance for health and well-being: Building on the experience of Health in All Policies. Geneva: WHO; 2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.who.int/publications/i/item/adelaide-statement-ii-on-health-in-all-policies> (дата обращения: 05.12.2025)

был ранее успешно реализован при моделировании глобальных закономерностей заболеваемости туберкулезом на основе совокупности социально-экономических, экологических и характеристик системы здравоохранения [25]. Основой для такой методики послужили статистические данные, полученные из открытых и официальных источников, в частности из Федеральной службы государственной статистики (Росстат), Министерства здравоохранения Российской Федерации, Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, а также из профильных ведомств и региональных органов управления здравоохранением. Совокупные сведения охватывали период 2010–2024 гг. (диапазон лет может варьироваться в зависимости от доступности тех или иных детерминант) и охватывали несколько групп показателей: социально-демографические, экономические, медицинские (включая параметры здорового образа жизни и распространенность основных заболеваний), экологические и данные об уровне безопасности (например, количество убийств на 100 тыс. населения). Для обеспечения сопоставимости информации и удобства последующего анализа часть исходных признаков, представленных в абсолютных значениях, была нормирована (например, пересчитана на 100 тыс. жителей), а для строковых переменных (наименования регионов) использовалось транслитерирование.

В контексте ML-методов предложенная процедура анализа включала не только построение прогнозной модели, но и проверку вклада каждого фактора. Для объективной оценки качества прогноза набор данных был разделен на обучающую (далее – train) и тестовую (далее – test) выборки. При этом, как правило, использовалось классическое соотношение 80:20, где 80 % записей были выделены под обучение модели, а 20 % – оставлены для независимой валидации. Такой подход дает возможность избежать переобучения (overfitting) и оценить способность алгоритма корректно воспроизводить закономерности на новых данных. Чаще всего применялось случайное перемешивание при разбиении, чтобы полученный результат был воспроизводим при повторном запуске.

В качестве алгоритма для решения задачи прогнозирования выбран CatBoost (Categorical Boosting). Метод CatBoost представляет собой градиентный бустинг на решающих деревьях, обладающий рядом преимуществ для задач эпидемиологии и общественного здоровья. Он позволяет эффективно учитывать категориальные признаки (например, названия регионов, отнесенные к соответствующим кодам) без дополнительных методов кодирования (One-Hot, Label Encoding), что снижает риск утечки информации. Кроме того, алгоритм устойчив к переобучению благодаря механизму регуляризации (L2-регуляризация), досрочной остановке и особым процедурам кодирования категорий. Градиентный бустинг, лежащий в основе CatBoost, опирается на идею поэтапного построения композиции деревьев, где на каждом шаге t формируется новая функция h_t , приближающая отрицательный градиент функции потерь по текущему суммарному

предсказанию $F_{\{t-1\}(x)}$. Если $l(y, F)$ – некоторая дифференцируемая функция потерь, то новая компонента h_t выбирается так, чтобы минимизировать:

$$\sum_{i=1}^m \left\{ \frac{\partial l(y_i, F(x_i))}{\partial F(x_i)} \right|_{\{F(x) = F_{\{t-1\}(x)}\}} \cdot h_t(x_i) \right\},$$

где m – количество обучающих примеров, а итоговая модель на шаге tt принимает вид

$$F_{\{t\}(x)} = F_{\{t-1\}(x)} + \eta \cdot h_{\{t\}(x)}.$$

Здесь η – коэффициент скорости обучения (learning rate). Такой метод, воплощенный в CatBoost, дополнительно использует статистики над выборками для категориальных признаков и учитывает упорядоченность вычислений, позволяя снизить смещения и повысить точность итогового прогноза.

Выбор основных гиперпараметров (количество итераций, глубина деревьев, скорость обучения и коэффициент регуляризации) осуществлялся эмпирически. В качестве метрики качества для основной оптимизации задавали среднюю абсолютную ошибку (Mean Absolute Error, MAE). По результатам финального тестирования (на ранее не использованных 20 % данных) дополнительно анализировался коэффициент детерминации R^2 , показывающий, какая доля дисперсии целевого признака может быть объяснена построенной моделью.

Помимо прогноза, важным элементом исследования выступал вопрос интерпретации полученного решения. Для анализа вклада отдельных детерминант (например, уровня бедности, заболеваемости, экологических факторов) применялась технология SHAP (англ. «SHapley Additive ExPlanations»), опирающаяся на теорию значений Шепли 1953 г. В CatBoost вычисление SHAP-значений упрощено за счет использования структуры деревьев. Анализ подобных диаграмм позволил выявить, какие факторы (например, доход на душу населения или число обратившихся за консультацией по ЗОЖ) наиболее существенно смещают прогнозируемые значения целевой переменной.

С целью дополнительно проверить статистическую значимость выявленных предикторов использовался встроенный в CatBoost модуль CatboostEvaluation. Суть его работы заключается в многократном обучении модели на различных фолдах (подвыборках) и последовательном исключении отдельных признаков. Если исключение признака приводит к росту ошибки, то разность характеризует степень важности признака. При больших положительных значениях $\Delta RMSE$ фактор считается крайне необходимым для модели, тогда как факторы с незначительными или отрицательными $\Delta RMSE$ могут быть признаны избыточными (возможно, из-за высокой корреляции с другими переменными). Подобная методика многократного исключения делает оценку вклада детерминант более надежной, поскольку проверяет их влияние на различных случайных разбиениях исходного набора.

Вышеописанное формирует единую методическую схему, позволяющую с высокой степенью достоверности установить, какие именно социально-

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-7-16>

Оригинальная исследовательская статья

медицинские детерминанты влияют на вариативность интересующего показателя и в какой мере они способствуют улучшению или ухудшению прогнозов. Сочетание методов градиентного бустинга с SHAP и CatboostEvaluation дает не только точный прогноз (что подтверждается низкими значениями MAE и высоким коэффициентом детерминации R^2), но и дает инструмент для оценки значимости каждого фактора. Для задач общественного здравоохранения и демографии подобная методология может оказывать существенную поддержку при принятии управленческих решений, позволяя выделять приоритетные направления (борьба с бедностью, повышение охвата профилактическими услугами, улучшение экологической обстановки и т. д.), которые, согласно результатам машинного анализа, в наибольшей степени отражаются на итоговом состоянии здоровья и демографических показателях регионов.

Результаты. Результаты, полученные в ходе моделирования индекса общественного здоровья (ИОЗ), продемонстрировали высокое качество прогноза: средняя абсолютная ошибка (MAE) составила 0,04, а коэффициент детерминации (R^2) достиг 0,92. Такой уровень точности указывает на то, что совокупность используемых социально-экономических, демографических и медицинских детерминант в значительной степени объясняет вариацию ИОЗ по регионам.

Визуализация результатов анализа методом SHAP (рис. 1) подтвердила лидирующую роль ряда показателей в формировании итогового прогноза. На диаграмме (верхняя часть рис. 1) заметно, что переменная «Число умерших» дает наиболее

выраженный вклад в вариацию Индекса: при высоком значении этой переменной, как правило, наблюдается смещение модельного предсказания в сторону негативных значений ИОЗ (рис. 1, правее нуля, на оси SHAP value). Аналогично прослеживается заметное влияние уровня бедности, а также коэффициента доступности жилья и показателя безработицы для возрастной группы 15–72 лет. При этом интенсивность красного или синего цвета указывает на величину фактического значения признака: более высокое значение сопровождается смещением индекса в одну сторону, более низкое – в противоположную.

Обобщенная столбчатая диаграмма (рис. 2) с осью mean (SHAP value) наглядно ранжирует переменные по их среднему вкладу в абсолютном выражении. На первом месте снова выступает «Число умерших» (около 0,010 в единицах SHAP), что согласуется с данными медицинской статистики о тесной связи уровня смертности с интегральными показателями общественного здоровья. Вторую и третью позиции занимают «Уровень бедности» и «Коэффициент доступности жилья» соответственно, причем их усредненные SHAP-значения достигают порядка 0,004–0,006, что свидетельствует о существенной роли социально-экономических условий в формировании ИОЗ. Далее следуют «Уровень безработицы (для группы 15–72)» и «Смертность от внешних причин», оказывающие схожий по масштабу вклад. Менее выраженное, но тем не менее значимое влияние показали переменные «Среднедушевые денежные доходы населения», «Охват горячим питанием обучающихся», «Уровень убийств» и «Расходы на окружающую среду».

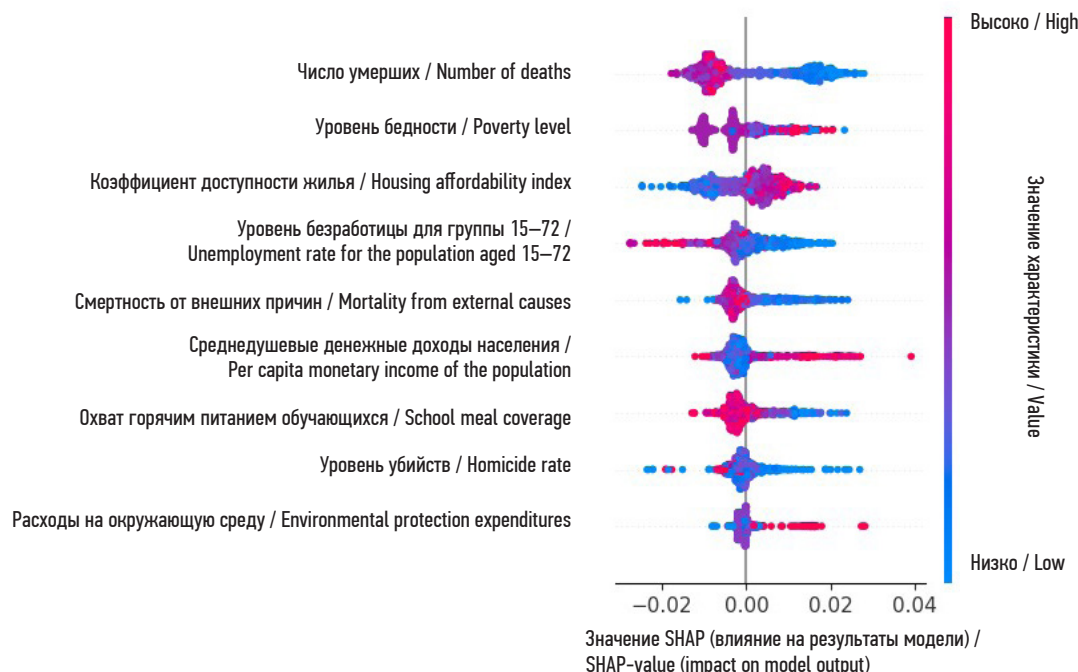


Рис. 1. SHAP-диаграмма («beeswarm») значимости социально-экономических и демографических детерминант в модели прогнозирования индекса общественного здоровья (ИОЗ) по регионам Российской Федерации

Fig. 1. The SHAP beeswarm plot showing the importance of socioeconomic and demographic determinants in the model predicting the Public Health Index (PHI) across regions of the Russian Federation

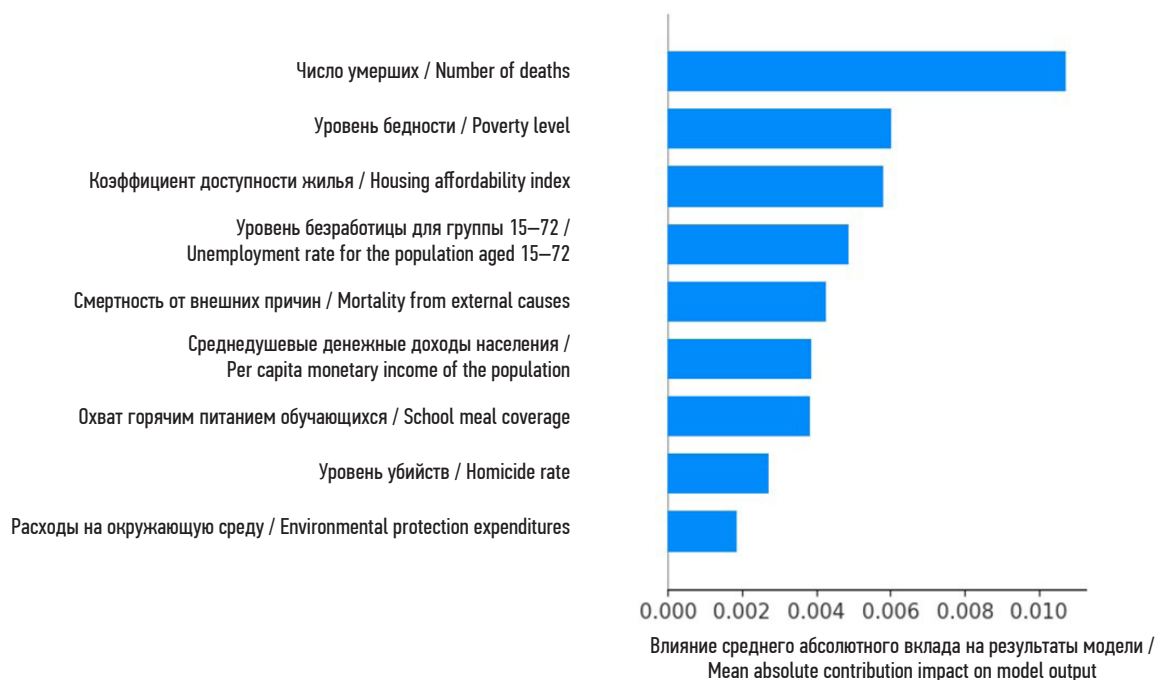


Рис. 2. Среднее абсолютное влияние (mean |SHAP value|) социально-экономических и демографических детерминант на прогноз индекса общественного здоровья (ИОЗ) по регионам Российской Федерации

Fig. 2. Mean absolute contribution (mean |SHAP value|) of socioeconomic and demographic determinants to the prediction of the Public Health Index (PHI) across regions of the Russian Federation

Дополнительно была проведена статистическая оценка значимости детерминант с помощью модуля CatboostEvaluation, который многократно исключает признак и замеряет изменение метрики (RMSE или MAE) при варьировании обучающей выборки. Полученные итоги свидетельствуют о том, что наиболее значимым признаком в рамках этой процедуры является «Регион» ($p = 0,000089$) и усредненный Score = 49,25, CI (99,5 %) [47,94–50,59]. Подобный результат указывает на то, что региональная принадлежность, даже с учетом множества других социально-экономических переменных, все еще вносит значимый вклад в модель и не может быть исключена без потери точности. Напротив, «Уровень безработицы (для группы 15–72)» ($p = 0,001019$, Score = $-0,94$, CI(99,5 %) [$-1,41 \dots -0,47$] и «Среднедушевые денежные доходы населения» ($p = 0,000593$, Score = $-0,79$, CI(99,5 %) [$-1,249562 \dots -0,37$]) приводили к снижению ошибки при их исключении и косвенно указывают на возможную избыточность.

Вариативные результаты зафиксированы для группы признаков «Год» ($p = 0,036561$, Score = 0,47), «Уровень бедности» ($p = 0,91$, Score = $-0,02$), «Коэффициент доступности жилья» (p -value = 0,37, Score = 0,11), «Смертность от внешних причин» (p -value = 0,11, Score = $-0,36$) и «Уровень убийств» (p -value = 0,39, Score = 0,20). Поскольку доверительные интервалы для большинства из них пересекают нуль, что отражает неоднозначное влияние на итоговую метрику и требует дополнительного анализа или введения новых признаков.

Примечательным оказалось и то, что «Охват горячим питанием обучающихся» продемонстрировал

положительный Score = 0,81 при $p = 0,0013$, причем 95 %-й доверительный интервал [0,31–1,25] подтверждает достоверность эффекта. Следовательно, включение показателя о мерах социальной поддержки в школе (горячее питание) улучшает модель, сокращая ошибку прогноза ИОЗ. Интересно, что в SHAP-диаграммах влияние переменной «Охват горячим питанием» хотя и уступает показателям смертности и бедности, но все же является значимым, что согласуется с итогами CatboostEvaluation.

Обсуждение. В ответ на актуальную потребность в создании стратегий управления рисками, связанными с социальными детерминантами здоровья [26], настоящее исследование предлагает количественный инструмент для оценки их интегративного воздействия на региональном уровне. При этом сама категория «общественного здоровья» рассматривается в современной научной парадигме как критически важный медико-социальный ресурс и потенциал общества, от состояния которого зависит национальная безопасность и устойчивое развитие страны [27].

Проведенный анализ выявил многоуровневую иерархию значимости факторов, которая, однако, требует содержательной интерпретации с учетом специфики применяемых методов. Разработанная модель градиентного бустинга (CatBoost) успешно справилась с этой задачей, продемонстрировав высокую прогностическую точность (MAE = 0,04; $R^2 = 0,92$). Это свидетельствует о том, что выбранный комплекс показателей адекватно отражает структуру социальных детерминант здоровья на региональном уровне и подтверждает применимость методов машинного обучения для подобных задач.

Согласно SHAP-анализу, определяющий вклад в вариацию ИОЗ вносят показатели, непосредственно отражающие неблагополучие: «Число умерших», «Уровень бедности» и «Коэффициент доступности жилья». Это полностью согласуется с фундаментальными положениями теории социальных детерминант здоровья, согласно которым материальная депривация является «причиной причин»¹, формирующей градиент здоровья через хронический стресс, ограниченный доступ к ресурсам и ухудшение условий жизни. Высокая значимость смертности как итогового индикатора демографического неблагополучия подтверждает, что модель корректно улавливает ключевые медико-демографические тренды.

Наиболее важным методологическим выводом является выявленное расхождение для переменных «Уровень безработицы» и «Среднедушевые доходы». SHAP-анализ показал их заметный индивидуальный вклад, что соответствует обширной литературе о влиянии занятости и дохода на здоровье [9–13]. Однако оценка с помощью CatboostEvaluation выявила, что исключение этих признаков уменьшает ошибку прогноза. Последнее, впрочем, не означает, что уровень благосостояния не важен для здоровья; напротив, данный результат указывает на сильную корреляцию с более комплексными индикаторами социального неблагополучия, такими как «Уровень бедности». «Следовательно, при наличии в модели «Уровня бедности» включение «Доходов» и «Безработицы» становится статистически избыточным и может вносить шум, ухудшающий обобщающую способность модели.

Высокую значимость в обеих системах оценки (положительный Score в CatboostEvaluation и значимый SHAP-вклад) продемонстрировал показатель «Охват горячим питанием обучающихся». Это важный практический вывод: инвестиции в социальную поддержку детей имеют самостоятельную прогностическую ценность для общественного здоровья региона, не сводимую только к общим экономическим показателям. Аналогичные выводы встречаются в исследованиях, где наличие полноценного питания в школьных учреждениях связывается с лучшими показателями здоровья и меньшим риском развития хронических заболеваний в будущем. Актуальность этого фактора подтверждается исследованиями, выявляющими низкий уровень пищевой грамотности и несбалансированный рацион у современных школьников, что напрямую связывается с рисками для их здоровья и успеваемости [28].

Отдельного внимания заслуживают региональные различия (переменная «Регион»). Высокий Score (49,25 при $p = 0,000089$) указывает на то, что, даже при контроле за множеством прочих факторов, территориальная специфика вносит весомый вклад в вариацию ИОЗ. Это может быть связано с неравномерностью распределения инфраструктуры, медико-социальных услуг, а также с экологическими и климатическими особенностями территорий России. Подобные различия требуют персонализированного подхода к стратегиям улучшения здоровья населения, когда единая

федеральная политика дополняется регионально-ориентированными мерами. Управленческие решения должны разрабатываться с обязательной поправкой на региональный контекст.

В контексте общественного здравоохранения данное исследование демонстрирует, что комплексный учет социально-экономических, демографических и инфраструктурных индикаторов с применением современных методов машинного обучения может формировать надежную основу для прогнозирования и интерпретации ключевых показателей здоровья населения. Гибридный подход, сочетающий высокоточные алгоритмы (CatBoost) и интерпретируемые методы (SHAP, CatboostEvaluation), позволяет уточнить, какие именно детерминанты наиболее существенно влияют на итоговую оценку здоровья регионов, а какие переменные могут быть избыточны или замещены более «сильными» коррелятами.

Ограничения исследования. Исследование основано на агрегированных официальных статистических данных субъектов Российской Федерации, в связи с чем выявленные взаимосвязи следует интерпретировать как статистические ассоциации, а не причинно-следственные эффекты. Использование регионального уровня агрегирования обуславливает риск экологической ошибки и ограничивает экстраполяцию результатов на индивидуальный уровень.

Качество моделирования зависит от полноты и сопоставимости исходных показателей, которые могут изменяться во времени вследствие корректировок методик статистического учета. Применение интегрального индекса общественного здоровья повышает устойчивость анализа.

Закключение. Проведенное исследование продемонстрировало, что интеграция панельных статистических данных субъектов Российской Федерации с методами градиентного бустинга и интерпретируемого машинного обучения позволяет не только с высокой точностью прогнозировать индекс общественного здоровья, но и формировать содержательно осмысленную иерархию социальных детерминант, релевантную для управленческих решений. Существенный вклад территориальной специфики подтверждает необходимость адаптации стратегий управления общественным здоровьем к региональному контексту и приоритизации мер, направленных на снижение бедности, повышение социальной защищенности и улучшение условий жизни. Методология, сочетающая градиентный бустинг, оценку значимости признаков через SHAP и CatboostEvaluation, может эффективно применяться при принятии управленческих решений в сфере здравоохранения. Она позволяет выявлять наиболее уязвимые направления и ресурсоемкие факторы, которые требуют особого внимания региональных и федеральных органов власти.

Выявленная статистическая избыточность ряда социально-экономических показателей отражает их коррелированность с более комплексными индикаторами и не означает отсутствия их реального влияния на здоровье населения.

Модель не учитывает пространственные и лаговые эффекты, а также ряд трудно формализуемых детерминант (социальный капитал, качество управления, поведенческие и цифровые факторы), включение которых является перспективным направлением дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сауткина В.А. Социальные детерминанты здоровья: мировые тенденции и региональные особенности // Общественные науки и современность. 2024. № 5. С. 98–110. doi: 10.31857/S0869049924050087
2. Jahnel T, Dassow HH, Gerhardus A, Schüz B. The digital rainbow: Digital determinants of health inequities. *Digit Health*. 2022;8:20552076221129093. doi: 10.1177/20552076221129093
3. Chetty R, Stepner M, Abraham S, et al. The association between income and life expectancy in the United States, 2001–2014. *JAMA*. 2016;315(16):1750–1766. doi: 10.1001/jama.2016.4226
4. Shartova N, Tikunov V, Cheresnaya O. Health disparities in Russia at the regional and global scales. *Int J Equity Health*. 2021;20(1):163. doi: 10.1186/s12939-021-01502-6
5. Yi H, Li M, Dong Y, et al. Nonlinear associations between the ratio of family income to poverty and all-cause mortality among adults in NHANES study. *Sci Rep*. 2024;14(1):12018. doi: 10.1038/s41598-024-63058-z
6. IHME-CHAIN Collaborators. Effects of education on adult mortality: A global systematic review and meta-analysis. *Lancet Public Health*. 2024;9(3):e155–e165. doi: 10.1016/S2468-2667(23)00306-7
7. Sart G, Bayar Y, Danilina M. Impact of education and income inequalities on life expectancy: Insights from the new EU members. *Front Public Health*. 2024;12:1397585. doi: 10.3389/fpubh.2024.1397585
8. Lu J, Wu C, Zhang X, et al. Educational inequalities in mortality and their mediators among generations across four decades: Nationwide, population based, prospective cohort study based on the ChinaHEART project. *BMJ*. 2023;382:e073749. doi: 10.1136/bmj-2022-073749
9. Tapia Granados JA, House JS, Ionides EL, Burgard S, Schoeni RS. Individual joblessness, contextual unemployment, and mortality risk. *Am J Epidemiol*. 2014;180(3):280–287. doi: 10.1093/aje/kwu128
10. Meneton P, Kesse-Guyot E, Méjean C, et al. Unemployment is associated with high cardiovascular event rate and increased all-cause mortality in middle-aged socially privileged individuals. *Int Arch Occup Environ Health*. 2015;88(6):707–716. doi: 10.1007/s00420-014-0997-7
11. Jakovljevic M, Kozlova O, Makarova M, Neklyudova N, Pyshmintseva O. Partial contribution of socioeconomic factors to the mortality rate of the working-age population in Russia. *Healthcare (Basel)*. 2023;11(10):1507. doi: 10.3390/healthcare11101507
12. Sanchez Rico M, Plessz M, Airagnes G, et al. Cardiovascular burden and unemployment: A retrospective study in a large population-based French cohort. *PLoS One*. 2023;18(7):e0288747. doi: 10.1371/journal.pone.0288747
13. Kawachi I, Kyriopoulos I, Vondoros S. Economic uncertainty and cardiovascular disease mortality. *Health Econ*. 2023;32(7):1550–1560. doi: 10.1002/hec.4678
14. D'Alessandro D, Appolloni L. Housing and health: An overview of the literature. *Health Affairs Health Policy Brief*. 2018;5(1):17–21. doi: 10.1377/hpb20180313.396577
15. de Bont J, Jaganathan S, Dahlquist M, Persson Å, Stafoggia M, Ljungman P. Ambient air pollution and cardiovascular diseases: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *J Intern Med*. 2022;291(6):779–800. doi: 10.1111/joim.13467
16. Brown JRG, Baptiste PJ, Hajmohammadi H, Nadarajah R, Gale CP, Wu J. Impact of neighbourhood and environmental factors on the risk of incident cardiovascular disease: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Prev Cardiol*. 2025;32(18):1903–1912. doi: 10.1093/eurjpc/zwaf165
17. Holt-Lunstad J, Smith TB, Baker M, Harris T, Stephenson D. Loneliness and social isolation as risk factors for mortality: A meta-analytic review. *Perspect Psychol Sci*. 2015;10(2):227–237. doi: 10.1177/1745691614568352
18. Wang F, Gao Y, Han Z, et al. A systematic review and meta-analysis of 90 cohort studies of social isolation, loneliness and mortality. *Nat Hum Behav*. 2023;7(8):1307–1319. doi: 10.1038/s41562-023-01617-6
19. Naito R, McKee M, Leong D, et al. Social isolation as a risk factor for all-cause mortality: Systematic review and meta-analysis of cohort studies. *PLoS One*. 2023;18(1):e0280308. doi: 10.1371/journal.pone.0280308
20. Mackenbach JP, Stirbu I, Roskam AJ, et al.; European Union Working Group on Socioeconomic Inequalities in Health. Socioeconomic inequalities in health in 22 European countries. *N Engl J Med*. 2008;358(23):2468–2481. doi: 10.1056/NEJMsa0707519
21. Mackenbach JP. Nordic paradox, Southern miracle, Eastern disaster: Persistence of inequalities in mortality in Europe. *Eur J Public Health*. 2017;27(Suppl 4):14–17. doi: 10.1093/eurpub/ckx160
22. Kino S, Hsu YT, Shiba K, et al. A scoping review on the use of machine learning in research on social determinants of health: Trends and research prospects. *SSM Popul Health*. 2021;15:100836. doi: 10.1016/j.ssmph.2021.100836
23. Seligman B, Tuljapurkar S, Rehkopf D. Machine learning approaches to the social determinants of health in the health and retirement study. *SSM Popul Health*. 2017;4:95–99. doi: 10.1016/j.ssmph.2017.11.008
24. Bhavnani SK, Zhang W, Bao D, et al. Subtyping social determinants of health in the “All of Us” program: Network analysis and visualization study. *J Med Internet Res*. 2025;27:e48775. doi: 10.2196/48775
25. Rahman MS, Shiddik AB. Utilizing artificial intelligence to predict and analyze socioeconomic, environmental, and healthcare factors driving tuberculosis globally. *Sci Rep*. 2025;15(1):13619. doi: 10.1038/s41598-025-96973-w
26. Тарасенко Е.А., Русских С.В., Васильева Т.П., Макарова Е.В., Горбачева Н.А., Ротов В.М. Социальные детерминанты здоровья как методологическая основа для разработки стратегий по улучшению общественного здоровья: зарубежный опыт и уроки для России // Социальные аспекты здоровья населения. 2024. Т. 70. № 2. С. 3.
27. Васильева Т.П., Ларионов А.В., Русских С.В., Зудин А.Б., Васюнина А.Е., Васильев М.Д. Методические подходы к измерению общественного здоровья как медико-социального ресурса и потенциала общества // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 11. С. 7–15. doi: 10.35627/2219-5238/2022-30-11-7-15
28. Соловьева Ю.В., Горелова Ж.Ю., Летучая Т.А., Мирская Н.Б., Зарецкая А.Р. Оценка знаний школьников о здоровом питании в условиях цифровой среды // Здоровье населения и среда обитания. 2021. Т. 29. № 10. С. 41–46. doi: 10.35627/2219-5238/2021-29-10-41-46

REFERENCES

1. Sautkina VA. Social determinants of health: Global trends and regional features. *Obshchestvennye Nauki i Sovremennost'*. 2024;(5):98–110. doi: 10.31857/S0869049924050087

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-7-16>

Оригинальная исследовательская статья

2. Jahnel T, Dassow HH, Gerhardus A, Schüz B. The digital rainbow: Digital determinants of health inequalities. *Digit Health*. 2022;8:20552076221129093. doi: 10.1177/20552076221129093
3. Chetty R, Stepner M, Abraham S, et al. The association between income and life expectancy in the United States, 2001–2014. *JAMA*. 2016;315(16):1750–1766. doi: 10.1001/jama.2016.4226
4. Shartova N, Tikunov V, Cheresnaya O. Health disparities in Russia at the regional and global scales. *Int J Equity Health*. 2021;20(1):163. doi: 10.1186/s12939-021-01502-6
5. Yi H, Li M, Dong Y, et al. Nonlinear associations between the ratio of family income to poverty and all-cause mortality among adults in NHANES study. *Sci Rep*. 2024;14(1):12018. doi: 10.1038/s41598-024-63058-z
6. IHME-CHAIN Collaborators. Effects of education on adult mortality: A global systematic review and meta-analysis. *Lancet Public Health*. 2024;9(3):e155–e165. doi: 10.1016/S2468-2667(23)00306-7
7. Sart G, Bayar Y, Danilina M. Impact of education and income inequalities on life expectancy: Insights from the new EU members. *Front Public Health*. 2024;12:1397585. doi: 10.3389/fpubh.2024.1397585
8. Lu J, Wu C, Zhang X, et al. Educational inequalities in mortality and their mediators among generations across four decades: Nationwide, population based, prospective cohort study based on the ChinaHEART project. *BMJ*. 2023;382:e073749. doi: 10.1136/bmj-2022-073749
9. Tapia Granados JA, House JS, Ionides EL, Burgard S, Schoeni RS. Individual joblessness, contextual unemployment, and mortality risk. *Am J Epidemiol*. 2014;180(3):280–287. doi: 10.1093/aje/kwu128
10. Meneton P, Kesse-Guyot E, Méjean C, et al. Unemployment is associated with high cardiovascular event rate and increased all-cause mortality in middle-aged socially privileged individuals. *Int Arch Occup Environ Health*. 2015;88(6):707–716. doi: 10.1007/s00420-014-0997-7
11. Jakovljevic M, Kozlova O, Makarova M, Neklyudova N, Pyshmintseva O. Partial contribution of socioeconomic factors to the mortality rate of the working-age population in Russia. *Healthcare (Basel)*. 2023;11(10):1507. doi: 10.3390/healthcare11101507
12. Sanchez Rico M, Plessz M, Airagnes G, et al. Cardiovascular burden and unemployment: A retrospective study in a large population-based French cohort. *PLoS One*. 2023;18(7):e0288747. doi: 10.1371/journal.pone.0288747
13. Kawachi I, Kyriopoulos I, Vondoros S. Economic uncertainty and cardiovascular disease mortality. *Health Econ*. 2023;32(7):1550–1560. doi: 10.1002/hec.4678
14. D'Alessandro D, Appolloni L. Housing and health: An overview of the literature. *Health Affairs Health Policy Brief*. 2018;5(1):17–21. doi: 10.1377/hpb20180313.396577
15. de Bont J, Jaganathan S, Dahlquist M, Persson Å, Stafoggia M, Ljungman P. Ambient air pollution and cardiovascular diseases: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *J Intern Med*. 2022;291(6):779–800. doi: 10.1111/joim.13467
16. Brown JRG, Baptiste PJ, Hajmohammadi H, Nadarajah R, Gale CP, Wu J. Impact of neighbourhood and environmental factors on the risk of incident cardiovascular disease: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Prev Cardiol*. 2025;32(18):1903–1912. doi: 10.1093/eurjpc/zwaf165
17. Holt-Lunstad J, Smith TB, Baker M, Harris T, Stephenson D. Loneliness and social isolation as risk factors for mortality: A meta-analytic review. *Perspect Psychol Sci*. 2015;10(2):227–237. doi: 10.1177/1745691614568352
18. Wang F, Gao Y, Han Z, et al. A systematic review and meta-analysis of 90 cohort studies of social isolation, loneliness and mortality. *Nat Hum Behav*. 2023;7(8):1307–1319. doi: 10.1038/s41562-023-01617-6
19. Naito R, McKee M, Leong D, et al. Social isolation as a risk factor for all-cause mortality: Systematic review and meta-analysis of cohort studies. *PLoS One*. 2023;18(1):e0280308. doi: 10.1371/journal.pone.0280308
20. Mackenbach JP, Stirbu I, Roskam AJ, et al.; European Union Working Group on Socioeconomic Inequalities in Health. Socioeconomic inequalities in health in 22 European countries. *N Engl J Med*. 2008;358(23):2468–2481. doi: 10.1056/NEJMsa0707519
21. Mackenbach JP. Nordic paradox, Southern miracle, Eastern disaster: Persistence of inequalities in mortality in Europe. *Eur J Public Health*. 2017;27(Suppl 4):14–17. doi: 10.1093/eurpub/ckx160
22. Kino S, Hsu YT, Shiba K, et al. A scoping review on the use of machine learning in research on social determinants of health: Trends and research prospects. *SSM Popul Health*. 2021;15:100836. doi: 10.1016/j.ssmph.2021.100836
23. Seligman B, Tuljapurkar S, Rehkopf D. Machine learning approaches to the social determinants of health in the health and retirement study. *SSM Popul Health*. 2017;4:95–99. doi: 10.1016/j.ssmph.2017.11.008
24. Bhavnani SK, Zhang W, Bao D, et al. Subtyping social determinants of health in the “All of Us” program: Network analysis and visualization study. *J Med Internet Res*. 2025;27:e48775. doi: 10.2196/48775
25. Rahman MS, Shiddik AB. Utilizing artificial intelligence to predict and analyze socioeconomic, environmental, and healthcare factors driving tuberculosis globally. *Sci Rep*. 2025;15(1):13619. doi: 10.1038/s41598-025-96973-w
26. Tarasenko EA, Russkikh SV, Vasilyeva TP, Makarova EV, Gorbacheva NA, Rotov VM. Social determinants of health as a methodological basis to develop strategies on public health improvement: Foreign experience and lessons for Russia. *Sotsial'nye Aspekty Zdorov'ya Naseleniya*. 2024;70(2):3. doi: 10.21045/2071-5021-2024-70-2-3
27. Vasilieva TP, Larionov AV, Russkikh SV, Zudin AB, Vasunina AE, Vasiliev MD. Methodological approaches to measuring public health as the sociomedical resource and potential of the society. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(11):7–15. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2022-30-11-7-15
28. Solovyeva YuV, Gorelova JYu, Letuchaya TA, Mirskaya NB, Zaretskaya AR. Assessment of healthy eating awareness of schoolchildren in a digital environment. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2021;29(10):41–46. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2021-29-10-41-46

Сведения об авторах:

Васильева Татьяна Павловна – д.м.н., профессор, заслуженный врач Российской Федерации, заведующая отделом исследований общественного здоровья ФГБНУ «Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н.А. Семашко»; e-mail: vasileva_tp@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4831-1783>.

Каримов Денис Олегович – к.м.н., с.н.с. отдела исследований общественного здоровья Национального НИИ общественного здоровья имени Н.А. Семашко; заведующий отделом токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека»; e-mail: karimovdo@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0039-6757>.

✉ **Рябова** Юлия Владимировна – к.м.н., заведующая лабораторией токсикологии отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека»; e-mail: ryabovaiuvl@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2677-0479>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Васильева Т.П.*; сбор данных: *Васильева Т.П., Каримов Д.О.*; анализ и интерпретация результатов: *Каримов Д.О., Васильева Т.П.*; литературный обзор: *Васильева Т.П., Каримов Д.О., Рябова Ю.В.*; подготовка рукописи: *Васильева Т.П., Каримов Д.О., Рябова Ю.В.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: проведение настоящего исследования не требовало одобрения этического комитета.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 01.10.25 / Принята к публикации: 10.02.26 / Опубликовано: 27.02.26

Author information:

Tatyana P. **Vasilyeva**, Dr. Sci. (Med.), Prof., Honored Doctor of the Russian Federation, Head of the Department of Lifestyle Studies and Public Health Protection, N.A. Semashko National Research Institute of Public Health; e-mail: vasilyeva_tp@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4831-1783>.

Denis O. **Karimov**, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher, Department of Lifestyle Studies and Public Health Protection, N.A. Semashko National Research Institute of Public Health; Head of the Department of Toxicology and Genetics with an experimental laboratory animal clinic, Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology; e-mail: karimovdo@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0039-6757>.

✉ Yuliya V. **Ryabova**, Cand. Sci. (Med.), Head of the Toxicology Laboratory, Department of Toxicology and Genetics with an experimental laboratory animal clinic, Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology; e-mail: ryabovaiuvl@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2677-0479>.

Author contributions: study conception and design: *Vasilyeva T.P.*; data collection, analysis and interpretation of results: *Vasilyeva T.P., Karimov D.O.*; bibliography compilation and referencing, draft manuscript preparation: *all authors*. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

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

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: October 1, 2025 / Accepted: February 10, 2026 / Published: February 27, 2026



Выявление зон риска врожденных пороков развития на уровне макрорегиона

Н.В. Ефимова¹, З.А. Зайкова², М.Ф. Савченков²

¹ ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований»,
ул. 12А микрорайон, д. 3а, г. Ангарск, Иркутская обл., 665826, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России,
ул. Красного восстания, д. 1, г. Иркутск, 664003, Российская Федерация

Резюме

Введение. Частота врожденных аномалий связана с комплексом экзо и эндогенных факторов, влияющих на развитие организма.

Цель исследования: на основе пространственного анализа выявить зоны риска развития врожденных аномалий детей, связанных с загрязнением атмосферного воздуха.

Материалы и методы. Для характеристики загрязнения атмосферного воздуха 23 субъектов, расположенных в Азиатском районе России, использовались данные Росгидромета за 2017–2023 г. по индексам загрязнения атмосферы и максимальным из зарегистрированных величин превышения ПДК по бенз(а)пирену. Показатели впервые выявленной заболеваемости по классу врожденные аномалии у детей 0–14 лет взяты из статистических сборников Минздрава РФ, использовалась численность экспонированного населения. Многоэтапное исследование проведено с применением методов статистического анализа: описательной статистики, корреляционного, регрессионного и кластерного анализа.

Результаты. Определена статистическая значимая корреляционная зависимость между частотой врожденных пороков развития нервной системы детей и уровнем загрязнения бенз(а)пиреном, индексом загрязнения атмосферы. По результатам кластерного анализа в кластер с высокими показателями первичной заболеваемости врожденными аномалиями нервной системы вошли 6 субъектов, где зарегистрированы высокие и очень высокие уровни загрязнения атмосферы (от 10 до 18), чрезвычайно высокие концентрации бенз(а)пирена в воздухе (от 32 до 74 максимальные кратности превышения ПДК) и высокие проценты экспонированного населения (38–77 %): Иркутская область, Республика Тыва, Красноярский край, Кемеровская область, Забайкальский край и Республика Бурятия.

Заключение. В ходе многоэтапного анализа определены зоны риска заболеваемости детей врожденными пороками развития в Азиатском районе России. По результатам корреляционного и кластерного анализов, в первую очередь, в выявленных 6 субъектах с высоким и очень высоким загрязнением атмосферы и бенз(а)пиреном, требуются меры, направленные на улучшение экологической ситуации, что в последующем повлечет за собой снижение уровня врожденных аномалий и дефектов развития нервной системы у детей.

Ключевые слова: врожденные аномалии, динамика, структура, впервые выявленные заболевания, кластерный анализ, макрорегион.

Для цитирования: Ефимова Н.В., Зайкова З.А., Савченков М.Ф. Выявление зон риска врожденных пороков развития на уровне макрорегиона // Здоровье населения и среда обитания. 2026. Т. 34. № 2. С. 17–25. doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-17-25

Identification of the Areas at Risk of Congenital Malformations at the Macroregional Level

Natalia V. Efimova,¹ Zoia A. Zaikova,² Mikhail F. Savchenkov²

¹ East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 3a, 12A Microdistrict Street, Angarsk, Irkutsk Region, 665826, Russian Federation

² Irkutsk State Medical University, 1 Krasnogo Vosstaniya Street, Irkutsk, 664003, Russian Federation

Summary

Introduction: The incidence of congenital anomalies is associated with a combination of exogenous and endogenous factors influencing development.

Objective: To identify the areas at risk of congenital anomalies in children associated with air pollution using spatial analysis.

Materials and Methods: To characterize ambient air pollution in 23 regions of the Asian part of Russia, we used data collected by the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet) for the years 2017–2023 on air quality indices (AQI) and exceedances of the maximum acceptable benzo(a)pyrene level. Incidence rates of congenital anomalies in children aged 0–14 years were retrieved from statistical bulletins of the Russian Ministry of Health, and the size of the exposed population was used. This multi-stage study was conducted using methods of descriptive statistics, as well as correlation, regression and cluster analysis.

Results: We found statistically significant correlations between ambient benzo(a)pyrene levels, AQI, and the incidence of congenital malformations of the nervous system in children. The cluster with the high incidence rates of congenital nervous system malformations included six regions noted for high and very high levels of ambient air pollution (AQI ranging from 10 to 18), extremely high airborne concentrations of benzo(a)pyrene (32 to 74-fold excess of MAC), and high proportions of exposed population (38–77 %), namely the Irkutsk Region, the Republic of Tyva, Krasnoyarsk Krai, Kemerovo Region, Transbaikalia Territory, and the Republic of Buryatia.

Conclusions: The multi-stage analysis identified areas at risk of congenital malformations in children in the Asian part of Russia. Based on the results of correlation and cluster analyses, measures aimed at improving environmental conditions are essential in six regions with high and very high air pollution and airborne benzo(a)pyrene levels as they will contribute to reducing the incidence of congenital anomalies and neurodevelopmental defects in offspring.

Keywords: congenital anomalies, dynamics, structure, newly diagnosed diseases, cluster analysis, macroregion.

Cite as: Efimova NV, Zaikova ZA, Savchenkov MF. Identification of the areas at risk of congenital malformations at the macroregional level. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2026;34(2):17–25. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-17-25

Введение. Анализ научной литературы свидетельствует, что врожденные аномалии развития относятся к еще не решенной глобальной проблеме в области общественного здравоохранения и охраны здоровья детей, как российской, так и мировой науки [1]. Частота несиндромных врожденных аномалий (ВА) в странах Европы, по данным EUROCAT, составляет 19,56 [95 % ДИ 19,47; 19,56] на 1000 рождений; пороков развития по группам систем – 20,21 [95 % ДИ 20,12; 20,30] на 1000 рождений [2]. По оценкам, в 2017 году глобальная распространенность только пороков развития системы кровообращения при рождении составила почти 18 случаев на 1000 живорождений, что на 4,2 % больше, чем в 1990 году [3–5]. По данным Банниковой Л.П. [6], в промышленном центре РФ в структуре врожденных аномалий на первом месте стоят пороки развития сердечно-сосудистой системы (24,1 %), второе место занимают ВА центральной нервной системы (20,5 %), на третьем месте – хромосомные нарушения (17,9 %), что несколько отличается от других данных [7].

Известно, что врожденные аномалии являются мультифакторными заболеваниями: считается, что 20 % пороков развития связаны с генетическими мутациями, 10 % – с хромосомными aberrациями, 3–4 % – с влиянием экзогенных (внешнесредовых) факторов, в прочих случаях этиология не выявлена [3, 8–13]. Показатели заболеваемости и инвалидности по классу болезней «Врожденные аномалии» используют в качестве индикатора техногенной опасности [14], что имеет особое значение для территорий с высокими уровнями загрязненности.

Современные информационные возможности и внедрение цифровых технологий позволяют формировать огромные массивы данных и объединять в единые базы разнородные характеристики территорий. Таким примером является система социально-гигиенического мониторинга, включающая показатели популяционного здоровья и качества среды обитания [15, 16]. Многими авторами отмечается недостаточная проработка методических подходов к анализу информационных массивов, включающих разнородные характеристики, что необходимо с целью обоснования профилактических программ, оптимизации организационных аспектов оказания медицинской помощи с учетом региональных проблем [17–20]. Особенно это важно для субъектов РФ с низкой плотностью населения и большой протяженностью территорий [21], к которым относится, в первую очередь, Азиатский макрорегион России. Одним из методов, применяемых для группировки объектов в соответствии с количественными или качественными характеристиками или сходством, является кластерный анализ. Несмотря на распространенность большого количества алгоритмов кластеризации и их успешное применение в различных областях знаний, в том числе в медицине, метод k-средних

имеет определенные преимущества. Этот метод обучения «без учителя» успешно применяется как для кросс-секционного, так и ретроспективного анализа вторичных медицинских данных [22–25]. Он фокусируется на анализе сходства данных путем вычисления взаимосвязей между объектами, объединяя объекты, имеющие схожие характеристики, в одно подмножество.

Цель исследования: выявить зоны и индикаторы риска развития врожденных пороков развития детей, связанные с загрязнением атмосферного воздуха на уровне макрорегиона.

Материалы и методы. В исследовании использовались показатели заболеваемости на 100 тыс. по 23 субъектам Азиатской части России из статистических материалов Минздрава РФ «Заболеваемость детского населения России (0–14 лет) с диагнозом, установленным впервые в жизни»: по XVII классу МКБ-10 врожденные аномалии (пороки развития); врожденные аномалии системы кровообращения (ВА СК); врожденные аномалии нервной системы (ВА НС); деформации бедра и синдром Дауна за 2017–2021 гг. (табл. 5.66, 5.67 и 5.69), за 2022 г. (табл. 5.70; 5.71 и 5.73) и за 2023 г. (табл. 5.103, 5.104; 5.106 и 5.107) и рассчитывались средние показатели за данный период.

Для характеристики качества атмосферного воздуха использована информация ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова», Росгидромет. Максимальные кратности ПДК бенз(а)пирена (БП) взяты по среднемесячным пробам на территориях городов, расположенных в субъектах РФ. Индексы загрязнения атмосферы (ИЗА) определены как средние интервалов при переводе качественной оценки в цифровое значение: 1) низкое загрязнение атмосферного воздуха (ИЗА < 5) рассмотрено как 2,5; 2) повышенное ИЗА (от 5 до 6) – как 5,5; 3) высокое ИЗА (от 7 до 13) – взято как 10. Только очень высокое ИЗА (> 14) взято по нижней границе, как 14. В перечень показателей, отражающих техногенную нагрузку на популяцию, были включены: абсолютное число экспонированного населения городов в исследуемых субъектах, где ведется мониторинг за загрязнением БА в атмосферном воздухе, в тыс. чел.¹ (14,6 млн чел. в 23 субъектах) и доля экспонированного населения, полученная расчетным способом, выраженная в процентах от общей численности субъекта по данным Росстата.

Исследование включало 4 последовательных этапа: 1-й – оценка загрязнения атмосферного воздуха с учетом общетоксического воздействия, оцениваемого по ИЗА, мутагенного, по содержанию бенз(а)пирена, и доли экспонированного населения; 2-й – кластерный и регрессионный анализ заболеваемости по классу болезней Q00–Q99; 3-й – поиск индикаторных локализаций врожденных пороков развития (ВПР) на основе корреляционного и регрессионного анализа; 4-й – оценка влияния загрязненности атмосферного воздуха на частоту

¹ Ежегодник состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2017–2023 годы. СПб.: Главная геофизическая обсерватория Росгидромета. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://voeikovmgo.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=40:perechen-materialov-izdannyykh-ggo&catid=41&Itemid=24&lang=rumeteorf.gov.ru/product/infomaterials/90/ (дата обращения: 10.10.2025).

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-17-25>
Оригинальная исследовательская статья

индикаторных ВА (на примере пороков развития нервной системы). В работе использовались методы статистики: проверка распределения на соответствие параметрическим законам (критерий Шапиро – Уилка, $p = 0,02$), описательная характеристика данных (арифметическое среднее с 95-процентным доверительным интервалом (ДИ)), регрессионный анализ динамики заболеваемости с расчетом коэффициента аппроксимации (R^2) и оценкой его по Чеддоку, определение коэффициентов вариации показателей, коэффициентов корреляции по Пирсону (r). Для кластерного анализа был выбран метод k -средних в связи с его важным преимуществом перед другими стратегиями объединения – отсутствием необходимости в предварительной подготовке данных. Исходная матрица для кластеризации данных об уровне и динамике ВА (2-й этап) включала: 7 показателей (с 2017 по 2023 год) и 23 объекта. Кластерный анализ разнородных характеристик (заболеваемость ВА и загрязненность атмосферного воздуха, доля экспонированного населения) проведен на матрице из 4 показателей и 147 объектов, где каждый год по рассматриваемым субъектам РФ рассматривался как отдельный объект наблюдения. Для определения необходимого количества кластеров (c), исходя из числа рассматриваемых субъектов РФ (N) использована формула Стерджесса [26]. Различие кластеров характеризовалось евклидовым расстоянием. Представлены средние величины заболеваемости и показатели загрязнения атмосферного воздуха по кластерам и результаты сравнения по точному критерию Фишера, статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Результаты. На первом этапе при ранжировании по ИЗА все субъекты были разделены на 4 группы. В первую группу с низким индексом (< 5) вошли Ямало-Ненецкий автономный округ (далее – АО), Камчатский край, Тюменская область без АО. Повышенный уровень загрязнения атмосферы (ИЗА = 5–6) был зарегистрирован в следующих субъектах: Приморском и Хабаровском краях, Новосибирской и Амурской областях, Еврейской АО, Ханты-Мансийском АО и Республике Саха (Якутия). Группа с высоким уровнем загрязнения (ИЗА = 7–13) включает: Томскую, Омскую, Сахалинскую, Магаданскую области, Алтайский край. Очень высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА ≥ 14) отмечен в Республиках Тыва, Бурятия и Хакасия, Красноярском, Забайкальском краях, Кемеровской и Иркутской областях. В Республике Алтай и Чукотском АО контроль за загрязнением атмосферного воздуха не проводится.

В Азиатском регионе России бенз(а)пирен (БП) не зарегистрирован в воздушном бассейне Камчатского края. Атмосферный воздух городов прочих субъектов содержит БП, максимальные из зарегистрированных концентраций оцениваются как очень высокие (≥ 10) в 5 субъектах Сибирского федерального округа (Республика Хакасия, Кемеровская область, Красноярский край, Республика Тыва и Иркутская область) и 2 субъектах Дальневосточного ФО (Республика Бурятия

и Забайкальский край). В группу с низким содержанием БП, где концентрации на уровне или ниже ПДК, отнесены: Тюменская область и ее округа, Камчатский край, Магаданская, Томская области, Республика Саха (Якутия). В атмосферном воздухе прочих субъектов концентрации БП находились на среднем и высоком уровнях.

Удельный вес населения, подвергающегося воздействию химических поллютантов, превышающих гигиенические нормативы, находился в пределах от 0,5 % до 76,9 % общей численности жителей конкретных субъектов. Распределение указанной величины по квартилям свидетельствует, что 7 субъектов (Республики Алтай, Тыва, Саха (Якутия), Амурская область, Алтайский край, Еврейская автономная область, Чукотский АО) попадают в диапазон [0,5–38,4 %], 5 – в диапазон [38,4–48,1 %], 6 – находятся в интервале [48,1–60,2 %], 5 субъектов (Красноярский, Хабаровский, Камчатский края, Магаданская, Иркутская области) – в верхнем квартиле [60,2–76,9 %].

Таким образом, большая доля экспонированного населения, особенно на юге макрорегиона, высокая загрязненность атмосферного воздуха, как по общетоксическому воздействию, так и по мутагенному, определяют необходимость проведения второго этапа исследований – анализа впервые выявленной заболеваемости по ВА.

Средний показатель впервые выявленной заболеваемости ВА в макрорегионе составил 888,7 (ДИ: 679,0–1098,5) случаев на 100 000 детей в возрасте от 0 до 14 лет. Отметим, что общероссийский показатель ВА был выше на 4,5 % (929,1 ‰; ДИ: 806,6–1051,7; $p < 0,05$). Минимальный показатель в макрорегионе зарегистрирован в 2021 г. (162,2), максимальный – в 2018 г. (2715,0 ‰), вариативность заболеваемости высока – 51,6 %, что определяет необходимость выделения территорий, с различающимися показателями. Сформировано шесть кластеров, отличающихся по уровню и динамике заболеваемости ВА (см. табл. 1).

Кластеры № 1 и 3 характеризуются ростом заболеваемости, но отличаются по ее уровню (в 1-м показатель выше, чем в среднем по макрорегиону в 1,56 раза, $p = 0,000$, а в 3-м соответствует среднерегionalному, $p = 0,98$). Показатели кластера № 2 выше среднего в 1,16 раза, но он увеличился за изучаемый период на 24 % (от 1014 в 2017 г. до 1339 случаев на 100 000 детей – в 2023 г.). В отдельный кластер № 5 выделен Камчатский край с максимальной частотой ВА 1537,2 (1028,7–2045,8) и выраженной тенденцией к росту ($R^2 = 0,783$). В кластерах № 4 и № 6 отмечаются стабильно низкие уровни заболеваемости ВА (529,1 и 259,9 ‰ соответственно). Неадекватность регрессионных моделей этих кластеров, возможно, связана с влиянием других неучтенных факторов на заболеваемость ВА.

В структуре заболеваемости ВА статистически значимых различий между средним по РФ и макрорегиону не выявлено; на первом месте – ВА системы кровообращения [27]. Однако между отдельными кластерами отмечаются различия (см. табл. 2).

Таблица 1. Впервые выявленная заболеваемость детей 0–14 лет по классу «Врожденные аномалии», среднее по кластерам за 2017–2023 годы**Table 1. Incidence rates of congenital anomalies in children aged 0–14 years by cluster in 2017–2023**

№ кластера / Cluster No.	Субъекты РФ / Constituent entities of the Russian Federation	Среднее на 100 000 человек (95 % ДИ) / Mean per 100,000 population (95 % CI)	Уравнение динамики заболеваемости (2017–2023 гг.) / Incidence dynamics equation (2017–2023)	R ²
1	Ямало-Ненецкий авт. округ, Кемеровская, Магаданская обл., Еврейская авт. область / Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, Kemerovo and Magadan regions, Jewish Autonomous Region	1386,9 (941,1–1832,6)	$y = -174,24x + 2171$	0,640
2	Иркутская, Омская обл., Республика Саха (Якутия) / Irkutsk and Omsk regions, Republic of Sakha (Yakutia)	1029,9 (871,4–1188,4)	$y = 54,59x + 784,23$	0,497
3	Республика Алтай, Алтайский, Красноярский, Приморский, Хабаровский края, Томская, Амурская, Сахалинская обл. / Altai Republic; Altai, Krasnoyarsk, Primorsky, and Khabarovsk territories; Tomsk, Amur, and Sakhalin regions	887,6 (764,8–1010,5)	$y = -58,224x + 1149,7$	0,942
4	Ханты-Мансийский авт. округ – Югра, Республики Тыва, Хакасия, Новосибирская обл., Забайкальский край / Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra; Republics of Tyva and Khakassia; Novosibirsk Region, Transbaikal Territory	529,1 (453,0–605,2)	$y = -19,395x + 616,42$	0,272
5	Камчатский край / Kamchatka Krai	1537,2 (1028,7–2045,8)	$y = 219,81x + 548,08$	0,783
6	Тюменская область без АО, Республика Бурятия / Tyumen Region without AO; Republic of Buryatia	259,9 (234,2–285,5)	$y = -0,7018x + 263,03$	0,003

Примечание: y – впервые выявленная заболеваемость по классу «Врожденные аномалии»; x – порядковый номер года за период исследования.

Notes: y is incidence rate of congenital anomalies, and x is the ordinal number of the year during the study period.

Первый ранг значимости в структуре имеют ВА СК, долевой вклад находился в пределах от 37,7 % во 2-м до 58,1 % в 3-м кластере. Второй ранг принадлежит деформации бедра (исключение составляет 4-й кластер), третий ранг – ВА НС.

Базируясь на результатах первых этапов, представляет интерес рассмотреть зависимость частоты ВА в целом по классу и отдельных локализаций от загрязненности атмосферного воздуха. Коэффициенты корреляции, отражающие зависимость частоты ВА НС, от уровня загрязнения атмосферы БП и ИЗА составили $r = 0,40$ ($p = 0,000$) и $r = 0,5$ ($p = 0,009$) соответственно. Кроме того, выявлены статистически значимые коэффициенты корреляции между частотой синдрома Дауна и ИЗА $r = 0,57$ ($p = 0,005$), уровнями БП $r = 0,540$ ($p = 0,015$). Прямая зависимость различной силы выявлена для всех рассматриваемых

видов ВА с долей экспонированного населения в субъектах РФ. Однако статистически значимые коэффициенты корреляции между удельным весом экспонированного населения зарегистрированы для заболеваемости ВА НС $r = 0,49$ ($p = 0,002$) и частотой деформации бедра $r = 0,62$ ($p = 0,002$).

Статистически значимые линейные зависимости заболеваемости от уровней экспозиции, установленные с помощью регрессионного анализа, свидетельствуют, что при росте ИЗА на условную единицу регистрируются 0,513 (ДИ 0,242–0,784) дополнительных случаев ВА НС на 100 тысяч детского населения и 0,489 (ДИ 0,202–0,776) ‰ синдрома Дауна. Увеличение содержания БП в приземном слое атмосферы на 1 мкг/м³ ассоциировано с 0,482 (ДИ 0,206–0,759) ‰ ВА НС и с 0,457 (ДИ 0,165–0,749) ‰ синдрома Дауна. Характеристики

Таблица 2. Распределение заболеваемости врожденными аномалиями по основным локализациям (%)**Table 2. Distribution of the incidence of congenital anomalies by the main sites (%)**

№ кластера / Cluster No.	ВА СК / CA CS	ВА НС / CA NS	Деформация бедра / Hip deformity	Синдром Дауна / Down's syndrome	Прочие / Other	Значимость различий / Significance of differences
1	43,5	1,8	4,5	0,3	49,9	$p(2) = 0,887$; $p(3) = 0,089$; $p(4) = 0,383$; $p(5) < 0,001$; $p(6) = 0,094$
2	37,7	2,1	4,4	0,3	55,5	$p(3) = 0,013$; $p(4) = 0,104$; $p(5) = 0,004$; $p(6) = 0,027$
3	58,1	1,7	6,9	0,6	32,7	$p(4) = 0,719$; $p(5) = 0,404$; $p(6) = 0,443$
4	53,5	3,9	3,6	0,9	38,1	$p(5) = 0,005$; $p(6) = 0,218$
5	54,5	0,7	17,9	0,1	26,8	$p(6) = 0,250$
6	47,7	3,4	11,6	1,5	35,9	
РФ / RF	47,0	1,2	8,6	0,5	42,8	$p(1) = 0,375$; $p(2) = 0,179$; $p(3) = 0,384$; $p(4) = 0,233$; $p(5) = 0,068$; $p(6) = 0,596$

Примечание: ВА СК – врожденные аномалии системы кровообращения; ВА НС – врожденные аномалии нервной системы.

Abbreviations: CA CS, congenital anomalies of the circulatory system; CA NS, congenital anomalies of the nervous system.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-17-25>

Оригинальная исследовательская статья

регрессионных моделей связи между частотой синдрома Дауна и концентрацией БП составили: $R = 0,45$; скорректированный $R_{\text{скор}}^2 = 0,18$; $F = 10,05$; $p = 0,003$; с общим уровнем ИЗА – $R = 0,48$; скорректированный $R_{\text{скор}}^2 = 0,22$; $F = 11,95$; $p = 0,001$. Близкие характеристики получили уравнения регрессии между частотой ВА НС и указанными предикторами: ИЗА ($R = 0,51$; $R_{\text{скор}}^2 = 0,24$; $F = 14,64$; $p = 0,0004$); БП ($R = 0,48$; $R_{\text{скор}}^2 = 0,21$; $F = 12,13$; $p = 0,001$).

Исходя из полученных результатов, для 4-го этапа выбрали ВА НС. Математическая модель, которая описывает влияние факторов на первичную заболеваемость врожденными пороками нервной системы:

$$y = 2,769 + 0,546x_1 + 0,148x_2 + 0,002x_3 + 0,069x_4,$$

где y – ВА НС, на 100 тыс.; x_1 – ИЗА, ед.; x_2 – максимальная кратность ПДК по БП, ед.; x_3 – численность экспонированного населения, тыс. чел.; x_4 – удельный вес экспонированного населения, проценты. Данная модель статистически значима: $F\text{-stat} = 4,371$; коэффициент множественной корреляции $R = 0,712$; коэффициент детерминации $R^2 = 0,507$.

Кроме того, для выявления ассоциированности ВА НС с факторами среды обитания использовали кластерный анализ изучаемого комплекса элементов системы «ВА НС – загрязненность атмосферного воздуха». В первый кластер вошли 4 субъекта с низкими значениями показателей содержания БП, ИЗА и удельного веса экспонированного населения, частота ВПР НС ниже среднего (11,1 ‰, против

14,1 ‰ в среднем по Азиатскому региону России) – см. табл. 3. Второй кластер отличается от первого только по показателю удельного веса экспонированного населения (52 % против 4,3 %). Третий кластер характеризуется самыми низким уровнем ВПР НС в данном регионе, высокими величинами загрязнения атмосферного воздуха: ИЗА = 7,7; БП = 7,9. Четвертый кластер представлен только одним субъектом – Иркутской областью, где 76,9 % проживает на экспонированной территории, ИЗА и содержание БП оцениваются как очень высокие, частота ВПР НС за изучаемый период составляла 43,9 случаев на 100 тыс. населения детского возраста. Пятый кластер включает 5 субъектов РФ и отличается высокой долей экспонированного населения, но уровень экспозиции оценивается как средний, а заболеваемость – ниже среднего. Шестой кластер (6 субъектов РФ) по уровню загрязнения близок к величинам Иркутской области, но в нем ниже доля экспонированного населения (46,2 %) и частота ВПР НС (18,5 ‰).

Обсуждение. При формировании программ, направленных на сохранение здоровья населения крупных регионов, изучение системы «здоровье населения – качество среды обитания» позволяет найти неблагополучные территории – точки приложения для минимизации риска здоровью и определить индикаторы эффективности реализации профилактических программ. Для гигиенических задач представляется целесообразным многоэтапный подход на основе кластерного анализа. На

Таблица 3. Средние параметры кластеров по частоте врожденных аномалий нервной системы детей и характеристикам химической экспозиции

Table 3. Mean parameters of clusters by the incidence of congenital anomalies of the nervous system in children and characteristics of chemical exposure

№ кластера / Cluster No.	Субъекты РФ / Constituent entities of the Russian Federation	Показатели / Indicators	ВА НС / CA NS	БП / B(a)P	ИЗА / AQI	% экспонированного населения / % of exposed population
1	Амурская область, Еврейская авт. обл., Чукотский АО / Amur Region, Jewish Autonomous Region, Chukotka Autonomous Okrug	M	11,2	1,4	3,6	4,3
		SD	8,7	1,4	3,6	4,3
2	Тюменская область без АО, Ямало-Ненецкий АО, Томская область, Приморский край / Tyumen Region without AO, Yamalo-Nenets AO, Tomsk Region, Primorsky Krai	M	12,7	1	5,3	52
		SD	6,9	0,9	2,6	2,7
3	Ханты-Мансийский АО, Алтайский край, Республика Саха (Якутия), Сахалинская область / Khanty-Mansi AO, Altai Krai, Republic of Sakha (Yakutia), Sakhalin Region	M	8,9	7,9	7,7	40,8
		SD	3	9,5	3,1	4,4
4	Иркутская область / Irkutsk Region	M	43,9	28,1	16	76,9
		SD	0	0	0	0
5	Новосибирская область, Омская область, Хабаровский край, Магаданская область / Novosibirsk Region, Omsk Region, Khabarovsk Krai, Magadan Region	M	10,8	7,2	1,5	63,5
		SD	3,2	6,4	1,0	6,5
6	Республика Тыва, Республика Хакасия, Красноярский край, Кемеровская область, Республика Бурятия, Забайкальский край / Republic of Tuva, Republic of Khakassia, Krasnoyarsk Krai, Kemerovo Region, Republic of Buryatia, Transbaikalian Territory	M	18,5	34,4	14,8	46,2
		SD	6,7	11,57	1,07	8,17

Примечание: М – средняя арифметическая величина; SD – стандартное отклонение; ВА НС – врожденные аномалии нервной системы; БП – бенз(а)пирен; ИЗА – индекс загрязнения атмосферного воздуха.

Abbreviations: M, arithmetic mean; SD, standard deviation; CA NS, congenital anomalies of the nervous system; B(a)P, benzo(a)pyrene; AQI, air quality index; AO, Autonomous Okrug.

1-м этапе необходимо рассмотреть факторы среды обитания и возможность негативного воздействия на население, оценить достаточность доли экспонированной субпопуляции для получения репрезентативного статистически значимого ответа. 2-й этап нужен для того, чтобы выделить однородные по отклику территории, рассматриваемые далее, как зоны риска. Поиск наиболее чувствительных индикаторов возможен с применением корреляционного анализа, подтверждающего биологически обоснованные потенциальные связи – основная задача 3-го этапа. На 4-м этапе использование кластерного анализа по рассматриваемым элементам, характеризующим воздействие фактора и выбранных для дальнейшего изучения индикаторов, дает возможность обосновать дальнейшие стратегии по улучшению качества среды обитания [12, 13, 17, 28], совершенствованию организации медицинской помощи, снижению восприимчивости населения к воздействию негативных факторов [29–31].

Применение данного подхода показало, что население макрорегиона – Азиатской части России – проживает в различных условиях среды, причем подвергается высокой экспозиции от 4 до 76,9 % популяции. Связь первичной заболеваемости ВПР НС подтверждена статистически значимыми коэффициентами корреляции средней тесноты, как от уровня загрязнения атмосферы БП, так и с ИЗА. Исходя из величин коэффициентов корреляций, вклад данных факторов в формирование частоты ВПР НС можно оценить в 16 и 25 % соответственно. Доказанное мутагенное действие БП, его тропность к тканям нервной системы [32–34] позволяет определить в качестве индикатора влияния загрязненности атмосферного воздуха на здоровье частоту впервые выявленных случаев врожденных аномалий (пороков развития) НС и синдрома Дауна. Проведенный нами кластерный анализ ВА НС и признаков, характеризующих ингаляционную экспозицию, показал, что в самый многочисленный кластер (6-й) с высокими показателями первичной заболеваемости ВА НС вошли все субъекты, где были зарегистрированы очень высокие уровни загрязнения атмосферы (ИЗА ≥ 14) и кратности превышения ПДК БП (в среднем от 25,6 до 56,6). Иркутская область с максимальными показателями составила отдельный кластер, Евклидово расстояние свидетельствует об удаленности от прочих кластеров (от 20,2 – расстояние от 6-го кластера; до 42,5 – 1-го кластера).

Ограничения исследования. Представленные результаты имеют ряд ограничений: во-первых, использование вторичных медицинских данных, представленных в статистических отчетах. Так, в рамках рассматриваемых показателей не удалось определить ключевые факторы, формирующие высокий уровень частоты деформаций бедра у детей Камчатского края, где показатель выше, чем в РФ (в 2023 году 454,5, против 73,8 случая на 100 000). Данный факт требует проведения комплексных целевых исследований с привлечением специалистов различного профиля. Во-вторых, кластеризация остается сложной задачей, имеющей свои неопределенности, как например, принципы

формирования кластера и определение подходящей меры сходства и целевой функции. Как указывают некоторые авторы, кластерный анализ – это только исследовательский инструмент, но результаты его применения, вне зависимости от используемого алгоритма, позволяют сформулировать гипотезы, определить перспективы дальнейших исследований [22, 24, 35]. В свете вышеизложенного считаем, что наше исследование по предложенному алгоритму позволило достичь поставленной цели и определить территории с наибольшим уровнем риска. Для проверки выдвинутой гипотезы о влиянии мутагенов, содержащихся в атмосферном воздухе, следует провести целевые исследования на территориях риска с использованием ретроспективного анализа первичных документов и углубленного клинико-лабораторного обследования с участием соответствующих специалистов. Несмотря на то что опубликовано множество алгоритмов кластеризации и продолжают появляться новые, не существует ни одного алгоритма кластеризации, который бы превосходил другие алгоритмы во всех областях.

Закключение. Использование многоэтапного анализа на основе системного подхода позволило выявить на территории макрорегиона (Азиатской части РФ) зоны риска заболеваемости детей по классу Q00–Q99 (врожденные аномалии (пороки развития): Иркутская область, Республика Тыва, Красноярский край, Кемеровская область, Республика Бурятия, Республика Хакасия, Забайкальский край, Камчатский край. Полученные результаты корреляционного и кластерного анализов, свидетельствуют о влиянии уровня загрязнения атмосферного воздуха в целом и БП, в частности, на частоту врожденных пороков развития нервной системы детей и синдрома Дауна. В кластеры с наиболее высокими показателями ВПР нервной системы вошли субъекты, где были зарегистрированы очень высокие уровни загрязнения БП и индексы загрязнения атмосферы. Планомерное выполнение региональных профилактических программ по улучшению состояния атмосферного воздуха будет способствовать снижению риска развития ВА у детей, включая врожденные пороки развития нервной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khoshnood B, Baynam G, Loane M, Rissmann A, Botto L. Editorial: Congenital anomalies: State of the art and the new paradigms for a precision public health approach. *Front Pediatr*. 2022;10:968923. doi: 10.3389/fped.2022.968923
2. Moorthie S, Blencowe H, Darlison MW, et al. Estimating the birth prevalence and pregnancy outcomes of congenital malformations worldwide. *J Community Genet*. 2018;9(4):387–396. doi: 10.1007/s12687-018-0384-2
3. GBD 2017 Congenital Heart Disease Collaborators. Global, regional, and national burden of congenital heart disease, 1990–2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet Child Adolesc Health*. 2020;4(3):185–200. doi: 10.1016/S2352-4642(19)30402-X
4. Schembari A, Nieuwenhuijsen MJ, Salvador J, et al. Traffic-related air pollution and congenital anomalies

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-17-25>

Оригинальная исследовательская статья

- in Barcelona. *Environ Health Perspect.* 2014;122(3):317-323. doi: 10.1289/ehp.1306802
5. Ma Z, Li W, Yang J, et al. Early prenatal exposure to air pollutants and congenital heart disease: A nested case-control study. *Environ Health Prev Med.* 2023;28:4. doi: 10.1265/ehpm.22-00138
6. Банникова Л.П. Оценка факторов риска формирования врожденных пороков развития у детей // Оренбургский медицинский вестник. 2024. Т. 12. № 2 (46). С. 57-63.
7. Manzoor U, Saad M, Ali S, Bano S, Shahzad U, Zain M. Prevalence and types of congenital anomalies in singleton pregnancies at a tertiary care hospital. *Cureus.* 2024;16(12):e76506. doi: 10.7759/cureus.76506
8. Nicoll R. Environmental contaminants and congenital heart defects: A re-evaluation of the evidence. *Int J Environ Res Public Health.* 2018;15(10):2096. doi: 10.3390/ijerph15102096
9. Hu CY, Huang K, Fang Y, et al. Maternal air pollution exposure and congenital heart defects in offspring: A systematic review and meta-analysis. *Chemosphere.* 2020;253:126668. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126668
10. Gomboev BO, Dambueva IK, Khankhareev SS, et al. Atmospheric air pollution by stationary sources in Ulan-Ude (Buryatia, Russia) and its impact on public health. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(24):16385. doi: 10.3390/ijerph192416385
11. Бурматова О.П. Загрязнение окружающей среды и здоровье людей // Развитие территорий. 2024. № 4(38). С. 42-49. doi: 10.32324/2412-8945-2024-4-42-49
12. Бурматова О.П. Регионы Сибири с напряженной экологической ситуацией: причины и решения // Развитие территорий. 2023. № 4(34). С. 28-39. doi: 10.32324/2412-8945-2023-4-28-39
13. Michel S, Atmakuri A, von Ehrenstein OS. Prenatal exposure to ambient air pollutants and congenital heart defects: An umbrella review. *Environ Int.* 2023;178:108076. doi: 10.1016/j.envint.2023.108076
14. Lee KS, Lim YH, Choi YJ, et al. Prenatal exposure to traffic-related air pollution and risk of congenital diseases in South Korea. *Environ Res.* 2020;191:110060. doi: 10.1016/j.envres.2020.110060
15. Зайцева Н.В., Май И.В., Кирьянов Д.А., Бабина С.В., Камалтдинов М.Р. Санитарно-эпидемиологический надзор: новый этап развития в условиях цифровизации и правовых изменений // Анализ риска здоровью. 2021. № 2. С. 4-16. doi: 10.21668/health.risk/2021.2.01
16. Суржигов Д.В., Кислицына В.В., Штайгер В.А., Голиков Р.А. Опыт применения статистико-математических технологий для оценки влияния атмосферных загрязнений на здоровье населения в крупном промышленном центре // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 7. С. 663-667. doi: 10.47470/0016-9900-2021100-7-663-667
17. Зайцева Н.В., Клейн С.В., Кирьянов Д.А., Андришунас А.М., Чигвинцев В.М., Балашов С.Ю. Оптимизация регулирующих воздействий на основе дифференцированного подхода к управлению качеством атмосферного воздуха и риском здоровью населения // Анализ риска здоровью. 2024. № 1. С. 4-17. doi: 10.21668/health.risk/2024.1.01
18. Зайцева Н.В., Май И.В., Алексеев В.Б., Кирьянов Д.А. Актуальные аспекты цифровизации в гигиене: наука и практика // Гигиена и санитария. 2024. Т. 103. № 7. С. 634-641. doi: 10.47470/0016-9900-2024-103-7-634-641
19. Кириллова С.В., Симонов К.В., Кириллов К.А., Карпов И.А. Методы кластерного анализа в региональных исследованиях // Информатизация и связь. 2024. № 2. С. 66-74. doi: 10.34219/2078-8320-2024-15-2-66-74
20. Кирьянов Д.А., Камалтдинов М.Р., Бабина С.В., Ситчихина Л.А. Исследование региональных возможных предотвращенных потерь здоровья в результате контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора на основе каскадной модели // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 12. С. 85-94. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-12-85-94
21. Третьяков А.П., Фисенко А.П., Апросимова С.И. Разработанная модель экосистемы охраны здоровья новорожденных западного округа Красноярского края позитивными изменениями основных демографических показателей по результатам оценки работы за 2023 год // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2024. № 3. С. 840-861. doi: 10.24412/2312-2935-2024-3-840-861
22. Jain AK. Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognit Lett.* 2010;31(8):651-666. doi: 10.1016/j.patrec.2009.09.011
23. Sinaga KP, Yang MS. Unsupervised K-means clustering algorithm. *IEEE Access.* 2020;8:80716-80727. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2988796
24. Pasin O, Gonenc S. An investigation into epidemiological situations of COVID-19 with fuzzy K-means and K-prototype clustering methods. *Sci Rep.* 2023;13(1):6255. doi: 10.1038/s41598-023-33214-y
25. González-Colom R, Herranz C, Vela E, et al. Prevention of unplanned hospital admissions in multimorbid patients using computational modeling: Observational retrospective cohort study. *J Med Internet Res.* 2023;25:e40846. doi: 10.2196/40846
26. Погорелов А.Р., Годованец Е.Т., Гайчукова Е.А. Региональные особенности динамики и территориальных различий заболеваемости взрослого населения Приморского края болезнями органов дыхания // Географическая среда и живые системы. 2022. № 2. С. 55-71. doi: 10.18384/2712-7621-2022-2-55-71
27. Арапханова Х.А., Пузин С.Н., Потапов В.Н., Ковалев И.А., Владимиров О.Н., Милованова О.А. Глобальное бремя врожденных пороков сердца в общественном здравоохранении // Вестник Всероссийского общества специалистов по медико-социальной экспертизе, реабилитации и реабилитационной индустрии. 2024. № 3-4. С. 30-44. doi: 10.17238/issn1999-2351.2024.3-4.30-44
28. Захарова М.В. Кластерный анализ выбросов загрязняющих веществ по территории Калужской области // Проблемы региональной экологии. 2022. № 1. С. 114-118. doi: 10.24412/1728-323X-2022-1-114-118
29. Шарапова О.В., Самойлова А.В., Мингазова Э.Н., Герасимова Л.И. Картографический анализ состояния показателей общей заболеваемости и смертности населения в субъектах Российской Федерации за 10-летний период // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2020. Т. 28. № 5. С. 822-826. doi: 10.32687/0869-866X-2020-28-s1-822-826
30. Лапыгин Ю.Н., Ковалев Е.А. Кластерный подход в реализации национального проекта «Здравоохранение» в регионе // Управленческое консультирование. 2021. № 3. С. 80-89. doi: 10.22394/1726-1139-2021-3-80-89
31. Галушин П.В., Галушина Е.Н. Кластерный анализ социально значимых заболеваний в Российской Федерации // Вестник НГУЭУ. 2023. № 1. С. 169-183. doi: 10.34020/2073-6495-2023-1-169-183
32. Bukowska B, Duchnowicz P. Molecular mechanisms of action of selected substances involved in the reduction of benzo[a]pyrene-induced oxidative stress. *Molecules.* 2022;27(4):1379. doi: 10.3390/molecules27041379

33. Lin S, Ren A, Wang L, *et al.* Aberrant methylation of Pax3 gene and neural tube defects in association with exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Clin Epigenetics*. 2019;11(1):13. doi: 10.1186/s13148-019-0611-7
 34. Li F, Xie L, Xiao Q, *et al.* Benzo[a]pyrene exposure induces anxiety-like behaviors in the mice through brain metabolic alterations. *Sci Total Environ*. 2024;954:176215. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.176215
 35. Chen Z, Xu Q, Liu B, *et al.* K-means clustering analysis of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^2\text{H}/^1\text{H}$ isotope ratios for identification of alcohol origin. *Forensic Sci Int*. 2025;374:112549. doi: 10.1016/j.forsciint.2025.112549
- ### REFERENCES
1. Khoshnood B, Baynam G, Loane M, Rissmann A, Botto L. Editorial: Congenital anomalies: State of the art and the new paradigms for a precision public health approach. *Front Pediatr*. 2022;10:968923. doi: 10.3389/fped.2022.968923
 2. Moorthie S, Blencowe H, Darlison MW, *et al.* Estimating the birth prevalence and pregnancy outcomes of congenital malformations worldwide. *J Community Genet*. 2018;9(4):387-396. doi: 10.1007/s12687-018-0384-2
 3. GBD 2017 Congenital Heart Disease Collaborators. Global, regional, and national burden of congenital heart disease, 1990–2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet Child Adolesc Health*. 2020;4(3):185-200. doi: 10.1016/S2352-4642(19)30402-X
 4. Schembari A, Nieuwenhuijsen MJ, Salvador J, *et al.* Traffic-related air pollution and congenital anomalies in Barcelona. *Environ Health Perspect*. 2014;122(3):317-323. doi: 10.1289/ehp.1306802
 5. Ma Z, Li W, Yang J, *et al.* Early prenatal exposure to air pollutants and congenital heart disease: A nested case-control study. *Environ Health Prev Med*. 2023;28:4. doi: 10.1265/ehpm.22-00138
 6. Bannikova LP. Assessment of risk factors for the formation of congenital malformations in children. *Orenburgskiy Meditsinskiy Vestnik*. 2024;12(2(46)):57-63. (In Russ.)
 7. Manzoor U, Saad M, Ali S, Bano S, Shahzad U, Zain M. Prevalence and types of congenital anomalies in singleton pregnancies at a tertiary care hospital. *Cureus*. 2024;16(12):e76506. doi: 10.7759/cureus.76506
 8. Nicoll R. Environmental contaminants and congenital heart defects: A re-evaluation of the evidence. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(10):2096. doi: 10.3390/ijerph15102096
 9. Hu CY, Huang K, Fang Y, *et al.* Maternal air pollution exposure and congenital heart defects in offspring: A systematic review and meta-analysis. *Chemosphere*. 2020;253:126668. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126668
 10. Gomboev BO, Dambueva IK, Khankhareev SS, *et al.* Atmospheric air pollution by stationary sources in Ulan-Ude (Buryatia, Russia) and its impact on public health. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(24):16385. doi: 10.3390/ijerph192416385
 11. Burmatova OP. Environmental pollution and human health. *Razvitie Territoriy*. 2024;4(38):42-49. (In Russ.) doi: 10.32324/2412-8945-2024-4-42-49
 12. Burmatova OP. Regions of Siberia with a tense environmental situation: Causes and solutions. *Razvitie Territoriy*. 2023;4(34):28-39. (In Russ.) doi: 10.32324/2412-8945-2023-4-28-39
 13. Michel S, Atmakuri A, von Ehrenstein OS. Prenatal exposure to ambient air pollutants and congenital heart defects: An umbrella review. *Environ Int*. 2023;178:108076. doi: 10.1016/j.envint.2023.108076
 14. Lee KS, Lim YH, Choi YJ, *et al.* Prenatal exposure to traffic-related air pollution and risk of congenital diseases in South Korea. *Environ Res*. 2020;191:110060. doi: 10.1016/j.envres.2020.110060
 15. Zaitseva NV, May IV, Kiryanov DA, Babina SV, Kamaltdinov MR. Sanitary-epidemiological surveillance: A new stage in development stimulated by digitalization and changes in legislation. *Health Risk Analysis*. 2021;(2):4-16. doi: 10.21668/health.risk/2021.2.01.eng
 16. Surzhikov DV, Kislitsyna VV, Shtaiger VA, Golikov RA. Experience in using statistical and mathematical technologies to assess the impact of atmospheric pollution on public health in a large industrial center. *Gigiena i Sanitariya*. 2021;100(7):663-667. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-7-663-667
 17. Zaitseva NV, Kleyn SV, Kiryanov DA, Andrishunas AM, Chigvintsev VM, Balashov SYu. Optimization of regulatory actions based on a differentiated approach to managing ambient air quality and health risks. *Health Risk Analysis*. 2024;(1):4-17. doi: 10.21668/health.risk/2024.1.01.eng
 18. Zaitseva NV, May IV, Alekseev VB, Kiryanov DA. Actual aspects of digitalization in hygiene: Theory and practice. *Gigiena i Sanitariya*. 2024;103(7):634-641. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2024-103-7-634-641
 19. Kirillova SV, Simonov KV, Kirillov KA, Karpov IA. Methods of cluster analysis in regional studies. *Informatizatsiya i Svyaz*. 2024;(2):66-74. (In Russ.) doi: 10.34219/2078-8320-2024-15-2-66-74
 20. Kiryanov DA, Kamaltdinov MR, Babina SV, Sitchikhina LA. Cascade model-based study of potential regional health losses prevented through Rospotrebnadzor control and supervisory activities. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(12):85-94. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-12-85-94
 21. Tretyakov AP, Fisenko AP, Aprosimoa SI. The developed model of the ecosystem of newborn health protection in the Western District of the Krasnoyarsk Territory with positive changes in the main demographic indicators based on the results of the work assessment for 2023. *Sovremennye Problemy Zdravookhraneniya i Meditsinskoy Statistiki*. 2024;(3):840-861. (In Russ.) doi: 10.24412/2312-2935-2024-3-840-861
 22. Jain AK. Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognit Lett*. 2010;31(8):651-666. doi: 10.1016/j.patrec.2009.09.011
 23. Sinaga KP, Yang MS. Unsupervised K-means clustering algorithm. *IEEE Access*. 2020;8:80716-80727. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2988796
 24. Pasin O, Gonenc S. An investigation into epidemiological situations of COVID-19 with fuzzy K-means and K-prototype clustering methods. *Sci Rep*. 2023;13(1):6255. doi: 10.1038/s41598-023-33214-y
 25. González-Colom R, Herranz C, Vela E, *et al.* Prevention of unplanned hospital admissions in multimorbid patients using computational modeling: Observational retrospective cohort study. *J Med Internet Res*. 2023;25:e40846. doi: 10.2196/40846
 26. Pogorelov AR, Godovanets ET, Gaychukova EA. Regional features of the dynamics and territorial differences of morbidity among the adult population of the Primorsky Krai, Russia (on the example of diseases of the respiratory system). *Geograficheskaya Sreda i Zhivyye Sistemy*. 2022;(2):55-71. (In Russ.) doi: 10.18384/2712-7621-2022-2-55-71
 27. Arapkhanova KhA, Puzin SN, Potapov VN, Kovalev IA, Vladimirova ON, Milovanova OA. The global burden of congenital heart disease in public health. *Vestnik Vserossiyskogo Obshchestva Spetsialistov po Mediko-Sotsial'noy*

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-17-25>

Оригинальная исследовательская статья

- Ekspertize, Reabilitatsii i Reabilitatsionnoy Industrii.* 2024;(3-4):30-44. (In Russ.) doi: 10.17238/issn1999-2351.2024.3-4.30-44
28. Zakharova MV. Cluster analysis of pollutant emissions in the Kaluga region. *Problemy Regional'noy Ekologii.* 2022;(1):114-118. (In Russ.) doi: 10.24412/1728-323X-2022-1-114-118
 29. Sharapova OV, Samoilova AV, Mingazova EN, Gerasimova LI. Cartographic analysis of the status of indicators of total morbidity and mortality of population in subjects of the Russian Federation for 10 years. *Problemy Sotsial'noy Gigieny, Zdravookhraneniya i Istorii Meditsiny.* 2020;28(S):822-826. (In Russ.) doi: 10.32687/0869-866X-2020-28-s1-822-826
 30. Lapygin YN, Kovalev EA. Cluster approach in the implementation of the national project "Health" in the region. *Upravlencheskoe Konsul'tirovanie.* 2021;(3(147)):80-89. (In Russ.) doi: 10.22394/1726-1139-2021-3-80-89
 31. Galushin PV, Galushina EN. Cluster analysis of socially significant diseases in the Russian Federation. *Vestnik NGUEU.* 2023;(1):169-183. (In Russ.) doi: 10.34020/2073-6495-2023-1-169-183
 32. Bukowska B, Duchnowicz P. Molecular mechanisms of action of selected substances involved in the reduction of benzo[a]pyrene-induced oxidative stress. *Molecules.* 2022;27(4):1379. doi: 10.3390/molecules27041379
 33. Lin S, Ren A, Wang L, et al. Aberrant methylation of Pax3 gene and neural tube defects in association with exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Clin Epigenetics.* 2019;11(1):13. doi: 10.1186/s13148-019-0611-7
 34. Li F, Xie L, Xiao Q, et al. Benzo[a]pyrene exposure induces anxiety-like behaviors in the mice through brain metabolic alterations. *Sci Total Environ.* 2024;954:176215. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.176215
 35. Chen Z, Xu Q, Liu B, et al. K-means clustering analysis of ¹³C/¹²C, ¹⁸O/¹⁶O and ²H/¹H isotope ratios for identification of alcohol origin. *Forensic Sci Int.* 2025;374:112549. doi: 10.1016/j.forsciint.2025.112549

Сведения об авторах:

Ефимова Наталья Васильевна – д.м.н., профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории эколого-гигиенических исследований ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», e-mail: medecolab@inbox.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7218-2147>.

✉ **Зайкова** Зоя Александровна – к.м.н., доцент, доцент кафедры общей гигиены, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России; тел.+79149504070; e-mail: zaikovazoya@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8104-4264>.

Савченков Михаил Федосович – академик РАН, д.м.н., профессор, профессор кафедры общей гигиены ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: mfs36@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1246-8327>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Ефимова Н.В.*; сбор и обработка материала, статистическая обработка материала: *Ефимова Н.В., Зайкова З.А.*; написание текста: *Ефимова Н.В., Зайкова З.А.*; редактирование: *Ефимова Н.В., Савченков М.Ф.* Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по био-медицинской этике или иных документов.

Финансирование: исследование спонсорской поддержки не имело.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии любых конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 03.10.25 / Принята к публикации: 10.02.26 / Опубликовано: 27.02.26

Author information:

Natalia V. **Efimova**, Dr. Sci. (Med.), Prof., Leading Researcher, Laboratory of Environmental Health Research, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research; e-mail: medecolab@inbox.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7218-2147>.

✉ Zoia A. **Zaikova**, Cand. Sci. (Med.), docent; Associate Professor, Department of General Hygiene, Irkutsk State Medical University; e-mail: zaikovazoya@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8104-4264>.

Mikhail F. **Savchenkov**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Prof., Dr. Sci. (Med.); Professor, Department of General Hygiene, Irkutsk State Medical University; e-mail: mfs36@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1246-8327>.

Author contributions: study conception and design: *Efimova N.V.*; data collection, processing, and statistical analysis: *Efimova N.V., Zaikova Z.A.*; draft manuscript preparation: *Efimova N.V., Zaikova Z.A.*; editing: *Efimova N.V., Savchenkov M.F.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: October 3, 2025 / Accepted: February 10, 2026 / Published: February 27, 2026



Заболееваемость меланомой кожи населения старшего возраста в Самарской области

С.А. Суслин^{1,2}, Ж.В. Баринаова², М.Л. Сиротко²

¹ ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, г. Москва, 125993, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Чапаевская, д. 89, г. Самара, 443099, Российская Федерация

Резюме

Введение. В настоящее время меланома кожи является важной проблемой общественного здравоохранения, так как представляет одну из самых агрессивных опухолей кожи, имеющей в последние десятилетия тенденцию к росту распространенности и заболеваемости.

Цель исследования: провести анализ половозрастной заболеваемости меланомой кожи населения старше трудоспособного возраста в Самарской области.

Материалы и методы. В работе использованы годовые отчеты федерального статистического наблюдения по форме № 7 «Сведения о заболеваниях злокачественными новообразованиями» Самарского областного клинического онкологического диспансера за 2014–2023 гг. В исследовании применялись эпидемиологический, статистический, аналитический и графический методы. Выполнены расчеты относительных, средних и стандартизованных показателей первичной заболеваемости меланомой кожи на 100 тыс. населения соответствующего пола и возраста, территории (область в целом, города и сельские районы), коэффициента детерминации (R^2) и критерия Фишера. Статистическая обработка материала осуществлялась с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты. За период с 2014 по 2023 г. заболеваемость меланомой кожи возросла по области на 29,8 %, городам – на 24,5 % и особенно сельским районам – на 58,6 % ($R^2 = 0,488$; критерий Фишера 7,63, $p < 0,05$). С учетом пола заболеваемость в области и городах выше у мужчин, в сельских районах – у женщин. Однако темп роста заболеваемости у городских женщин значительно выше, чем у мужчин, проживающих в городах, а темп роста заболеваемости у мужчин сельской местности превосходит таковой у женщин, проживающих в сельских районах. С увеличением возраста уровень заболеваемости меланомой кожи повышается, особенно с возраста 65–69 лет, и достигает максимальных значений в возрастных группах 80 лет и старше.

Выводы. Высокий уровень заболеваемости меланомой кожи населения старшего возраста и выявленный ее рост в динамике определяют повышенную потребность в проведении лечебно-профилактических мероприятий для данной возрастной группы, особенно проживающей в сельских районах Самарской области.

Ключевые слова: меланома кожи, заболеваемость, старший возраст, Самарская область.

Для цитирования: Суслин С.А., Баринаова Ж.В., Сиротко М.Л. Заболеваемость меланомой кожи населения старшего возраста в Самарской области // Здоровье населения и среда обитания. 2026. Т. 34. № 2. С. 26–35. doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-26-35

Incidence of Melanoma Skin Cancer in the Elderly Population of the Samara Region

Sergey A. Suslin,^{1,2} Zhanna V. Barinova,² Maiya L. Sirotko²

¹ Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Bldg 1, 2/1 Barrikadnaya Street, Moscow, 125993, Russian Federation

² Samara State Medical University, 89 Chapayevskaya Street, Samara, 443099, Russian Federation

Summary

Introduction: Melanoma is currently a public health challenge as it is one of the most aggressive skin tumors demonstrating increasing incidence and prevalence over recent decades.

Objective: To analyze age and sex-specific incidence rates of melanoma of the skin in the elderly population of the Samara Region.

Materials and Methods: We used annual federal statistical reporting data from Form No. 7, Incidence of malignant neoplasms, of the Samara Regional Clinical Oncology Dispensary for 2014–2023 and applied epidemiological, statistical, analytical, and graphical methods. We calculated mean and standardized rates of melanoma incidence per 100,000 population by sex, age, and territory (the region as a whole, cities, and rural areas); the R^2 coefficient of determination, and the Fisher exact test using Microsoft Excel.

Results: From 2014 to 2023, the incidence of melanoma increased by 29.8 % in the region, by 24.5 % in cities, and by 58.6 % in rural areas ($R^2 = 0.488$; Fisher exact test 7.63, $p < 0.05$). Sex-specific rates established in the region and cities were higher among male seniors. In rural areas, the malignancy was more incident in women. Yet, the rates of increase of melanoma incidence in urban women were significantly higher than in urban men, and those in rural men exceeded the rates in rural women. The incidence rate of melanoma increases with age, especially starting from the age of 65–69 years, and reaches maximum values in the population aged 80 years or older.

Conclusion: High incidence of melanoma in older adults and its observed growth over time determine the urgent necessity of preventive measures for this age group, especially those living in rural areas of the Samara Region.

Keywords: melanoma, incidence, old age, Samara Region.

Cite as: Suslin SA, Barinova ZhV, Sirotko ML. Incidence of melanoma skin cancer in the elderly population of the Samara Region. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2026;34(2):26–35. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-26-35

Введение. Меланома занимает особое место среди злокачественных новообразований кожи, представляя важную общественную проблему для системы здравоохранения в связи с высоким уровнем летальности и низкой эффективностью терапии поздних стадий заболевания [1–3].

Хотя среди всех злокачественных опухолей кожи меланома встречается не более чем в 10 % случаев, она ответственна за 80 % смертей от опухолей кожи. Воздействие солнечного УФ-излучения, светлая кожа, синдром диспластических невусов и семейный анамнез меланомы являются основными факторами риска развития меланомы. В настоящее время ведутся исследования взаимодействия генетических и экологических факторов риска, способствующих развитию меланомы [4, 5].

В Европе самые высокие показатели заболеваемости меланомой кожи наблюдаются в ее северо-западной части и в Скандинавских странах [6, 7]. По данным ряда исследований, меланома у мужчин чаще локализуется на голове, шее и туловище, у женщин – на нижних конечностях. По сезонности выявления меланома выявляется наиболее часто летом, далее в порядке убывания – осенью, весной и зимой [8, 9].

По результатам исследования Elmore J.G. et al., трехлетняя общая выживаемость при IA стадии составляет 97 %, при IV стадии – 33 %, одногодичная летальность – 25 % [10].

В России продолжает оставаться актуальным тревожный рост уровня распространенности меланомы кожи: с 2011 по 2022 г. он увеличился на 50 % с 48,3 до 72,7 на 100 тыс. населения¹.

Не является исключением и Самарская область. По данным ранее проведенного ретроспективного эпидемиологического исследования, уровень первичной заболеваемости меланомой в Самарской области с 2014 по 2022 г. имел тенденцию к увеличению с 8,3 до 8,6 на 100 тыс. населения. При этом наиболее интенсивный рост данного показателя – на 28,2 % с 7,1 до 9,1 на 100 тыс. населения отмечался в сельских районах. Для всего населения Самарской области средний уровень заболеваемости за период 2014–2022 гг. составил 8,6 на 100 тыс. населения [11].

Рассматривая заболеваемость меланомой кожи, была отмечена тенденция постепенного увеличения частоты данного заболевания с возрастом, достигая максимальных значений среди лиц пожилого и старческого возраста, что предопределило направление дальнейшего исследования по изучению уровня заболеваемости у лиц данной возрастной группы с учетом гендерных и пятилетних возрастных особенностей на региональном уровне.

Цель исследования – провести анализ половозрастной заболеваемости меланомой кожи населения старше трудоспособного возраста в Самарской области.

Материалы и методы. Исходными материалами послужили годовые отчеты федерального статистического наблюдения по форме № 7 «Сведения

о заболеваниях злокачественными новообразованиями» Самарского областного клинического онкологического диспансера за 2014–2023 гг. Также использованы данные территориального органа Федеральной службы государственной статистики (Самарстат) о численности и половозрастном составе населения Самарской области за указанный период, как в целом, так и для городского и сельского населения отдельно.

В исследовании применялись эпидемиологический, статистический, аналитический и графический методы. При расчетах стандартизованных показателей в качестве стандарта использовали средневозрастной состав населения Самарской области за 2014–2023 гг. Выполнены расчеты относительных и средних за ряд лет показателей первичной заболеваемости меланомой кожи на 100 тыс. населения соответствующего пола, возраста и территории (область в целом, города и сельские районы). Для определения возможной статистически значимой связи между видом территории и годами наблюдения рассчитывались коэффициент детерминации (R^2) и критерий Фишера, различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

В работе в качестве старше трудоспособного возраста изучена заболеваемость мужчин в возрасте 60 лет и старше и женщин в возрасте 55 лет и старше. Ограничением следует назвать не учитываемое в данном исследовании изменение границ возраста старше трудоспособного вследствие повышения пенсионного возраста с 1 января 2019 г. в результате начала пенсионной реформы в России. Статистическую обработку материала осуществляли с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты. Анализ заболеваемости меланомой кожи среди населения старше трудоспособного возраста в Самарской области с 2014 по 2023 г. показал, что ее уровень увеличился как в области в целом, так и в городах и сельских районах (табл. 1).

Представленные в табл. 1 данные свидетельствуют, что наиболее интенсивный рост заболеваемости меланомой кожи наблюдался в сельских районах на 58,6 % с 14,0 до 22,2 на 100 тыс. населения. При этом в области в целом уровень заболеваемости возрос в анализируемом периоде на 29,8 % – с 17,8 до 23,1 на 100 тыс. населения, а в городах на 24,5 % – с 18,8 до 23,4 на 100 тыс. населения. Рассчитанный коэффициент детерминации (R^2), равный 0,243 для области, 0,069 для городов и 0,488 для сельских районов, и значение критерия Фишера выше табличного для сельских территорий ($7,63 > 5,32$, $p < 0,05$) наглядно демонстрируют, что наблюдаемый рост заболеваемости меланомой кожи для сельских районов не является случайным, а отражает устойчивую долгосрочную тенденцию (рис. 1).

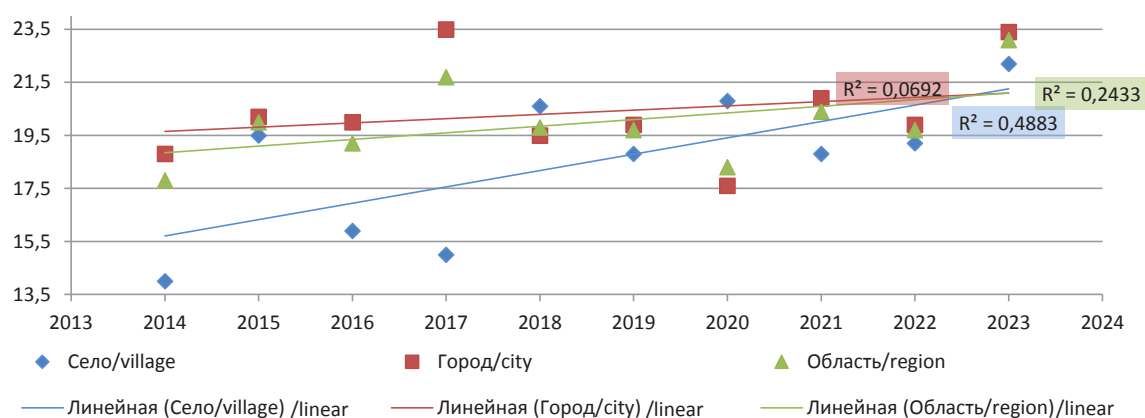
Среднегодовой темп роста заболеваемости за 2014–2023 гг. по области составил 12,2 %, в городах – 10,0 %, в сельских районах – 32,0 %.

При расчете среднего значения заболеваемости в области, городах и сельских районах за 2014–

¹ Состояние онкологической помощи населению России в 2022 году / Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2022. 239 с.

Таблица 1. Заболеваемость меланомой кожи населения старше трудоспособного возраста в Самарской области с 2014 по 2023 г. (на 100 000 населения)**Table 1. Incidence of melanoma skin cancer in the elderly population of the Samara Region in 2014–2023 (per 100,000 population)**

Годы / Years	Область / Region		Города / Cities		Сельские районы / Rural areas	
	Заболеваемость / Incidence	Темп роста / Growth rate (%)	Заболеваемость / Incidence	Темп роста / Growth rate (%)	Заболеваемость / Incidence	Темп роста / Growth rate (%)
2014	17,8	100	18,8	100	14,0	100
2015	20,0	112,4	20,2	107,5	19,5	139,3
2016	19,2	107,9	20,0	106,4	15,9	113,6
2017	21,7	121,9	23,5	125,0	15,0	107,1
2018	19,8	111,2	19,5	103,7	20,6	147,1
2019	19,7	110,7	19,9	105,9	18,8	134,3
2020	18,3	102,8	17,6	93,6	20,8	148,6
2021	20,4	114,6	20,9	111,2	18,8	134,3
2022	19,7	110,7	19,9	105,9	19,2	137,1
2023	23,1	129,8	23,4	124,5	22,2	158,6

**Рис. 1. Линии тренда заболеваемости меланомой кожи населения старше трудоспособного возраста (Самарская область в целом, город, село) с 2014 по 2023 г.****Fig. 1. Trend lines for the incidence of melanoma of the skin in the elderly population of the Samara Region, its urban and rural areas in 2014–2023**

2023 гг. установлено, что для области оно оказалось равным 20, для городов – 20,4, для сельской местности – 18,5 на 100 тыс. населения, что примерно в 2,3 раза выше, чем средний уровень заболеваемости меланомой кожи для населения всех возрастных групп в целом по изучаемым территориям (8,6–8,7 на 100 тыс. населения).

Аналогичная тенденция отмечается и по стандартизованным показателям заболеваемости для территориальных образований Самарской области (рис. 2).

Как следует из рис. 1, за период с 2014 по 2023 г. произошло увеличение уровня заболеваемости меланомой кожи в целом по области, городам и сельским районам Самарской области у населения старше трудоспособного возраста. Однако в данном временном интервале наблюдались годы снижения уровня заболеваемости, в частности в сельских районах в 2016–2017 гг. из-за недостаточной организационно-диагностической работы, а также в 2020 г. в городах и в 2021 г. на сельских территориях вследствие ограничений в доступности медицинской помощи при пандемии COVID-19.

В результате изучения возможных отличий заболеваемости меланомой кожи среди населения старшего возраста по полу было установлено, что уровень заболеваемости в области и городах Самарской области выше у мужчин, чем у женщин, а в сельских районах, наоборот, выше у женщин (табл. 2).

Как следует из табл. 2, уровень заболеваемости меланомой кожи за 10-летний период имел тенденцию к росту как у мужчин, так и у женщин. По области в целом заболеваемость в данном периоде выросла у мужчин на 17,7 %, с 18,6 до 21,9 на 100 тыс. населения, у женщин – на 37,4 %, с 17,4 до 23,9 на 100 тыс. населения. В городах у мужчин отмечен сравнительно небольшой рост заболеваемости на 7,4 %, с 21,5 до 23,5 на 100 тыс. населения, в то время как у женщин рост составил почти в пять раз больше – 35,8 %, с 17,3 до 23,5 на 100 тыс. женского населения. Заслуживает внимания то обстоятельство, что еще более интенсивный рост заболеваемости отмечался в сельских районах у мужчин – в 2,2 раза, с 8,3 до 17,9 на 100 тыс. населения. У женщин, проживающих в сельской

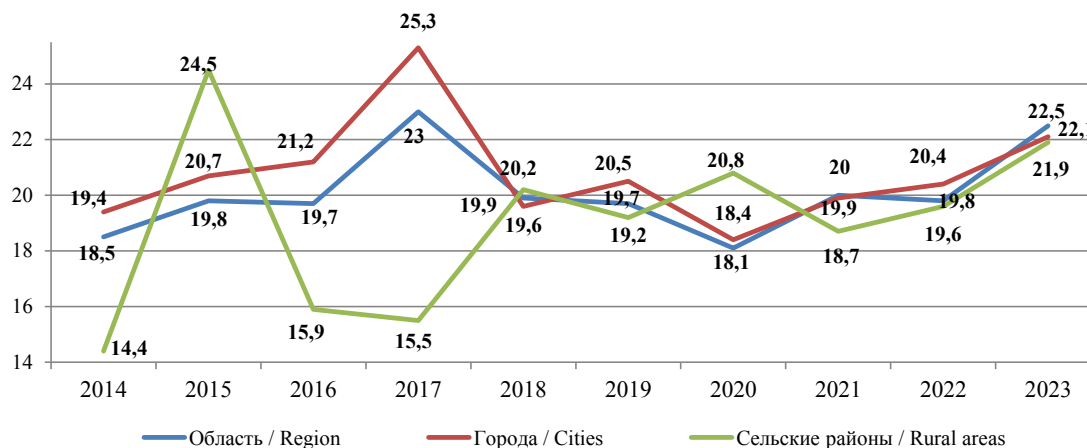


Рис. 2. Стандартизованные показатели заболеваемости меланомой кожи населения старше трудоспособного возраста по городам, сельским районам и Самарской области за 2014–2023 гг. (на 100 000 населения)

Fig. 2. Standardized incidence rates of melanoma of the skin in the elderly population of the Samara Region, its urban and rural areas in 2014–2023 (per 100,000 population)

Таблица 2. Заболеваемость меланомой кожи мужчин и женщин старше трудоспособного возраста Самарской области с 2014 по 2023 г. (на 100 000 населения)

Table 2. Sex-specific incidence of melanoma skin cancer in the elderly population of the Samara Region in 2014–2023 (per 100,000 population)

Годы / Years	Область / Region		Города / Cities		Сельские районы / Rural areas	
	Мужчины / Men	Женщины / Women	Мужчины / Men	Женщины / Women	Мужчины / Men	Женщины / Women
2014	18,6	17,4	21,5	17,3	8,3	17,7
2015	20,4	19,9	22,4	19,0	13,4	23,5
2016	18,5	19,5	20,9	19,5	10,3	19,6
2017	22,7	21,1	26,1	22,0	11,3	17,5
2018	19,6	19,9	20,7	18,9	15,8	23,8
2019	19,4	19,8	19,5	20,2	19,0	18,6
2020	20,6	17,0	21,6	15,4	17,4	23,2
2021	24,7	17,9	26,3	17,8	19,5	18,3
2022	20,2	19,5	21,5	19,0	15,9	21,5
2023	21,9	23,9	23,1	23,5	17,9	25,3

местности, данный показатель вырос в 1,4 раза, с 17,7 до 25,3 на 100 тыс. населения.

В изучаемом жизненном периоде возраста старше трудоспособного относительно самые низкие показатели заболеваемости меланомой кожи отмечены в городах, сельских районах и области в целом в возрастных группах 55–59 лет и 60–64 года (табл. 3–5).

Как видно из табл. 3, 4 и 5, при рассмотрении динамики возрастных особенностей заболеваемости меланомой кожи жителей Самарской области старшего возраста с 2014 по 2023 г. обращает на себя внимание тот факт, что с увеличением возраста уровень заболеваемости растет, особенно в возрастной группе 65–69 лет, достигая максимума в возрасте 80 лет и старше. Аналогичная тенденция наблюдается также в городах и сельских районах Самарской области.

Для населения Самарской области старше трудоспособного возраста заболеваемость в возрастной группе 80–84 года в среднем в 2,2 раза превышала ее среднее значение в возрасте 55–59

лет, что является наибольшей разницей при сравнении всех пятилетних возрастных групп с начальной группой 55–59-летних. При этом в отдельные годы (например, 2017 г.) уровень заболеваемости в возрасте 80–84 года был самым высоким (43,3) и достигал 2,4-кратной разницы с уровнем заболеваемости 55–59-летних (17,7 на 100 тыс. населения). Также отмечен выраженный рост заболеваемости в возрастной группе 70–74 года в 2016–2017 г. по сравнению с 2014 г. – в 2,2 и 2,7 раза соответственно.

При сравнительном анализе возрастной заболеваемости городских и сельских жителей Самарской области старше трудоспособного возраста в возрастах 55–59, 60–64 и 65–69 лет средние значения уровня заболеваемости практически не отличаются, тогда как у городских жителей в возрастных группах 70–74 года и 75–79 лет уровень становится выше, чем у сельских жителей, в 1,2 раза, в возрасте 80–84 года – в 1,3 раза и в возрасте 85 лет и старше разница максимальна (в 1,4 раза).

Обсуждение. Результаты проведенного ретроспективного изучения уровня заболеваемости

Таблица 3. Возрастная заболеваемость меланомой кожи населения старше трудоспособного возраста в городах Самарской области с 2014 по 2023 г. (на 100 000 населения)**Table 3. Age-specific incidence of melanoma skin cancer in the urban elderly population of the Samara Region in 2014–2023 (per 100,000 population)**

Возрастные группы / Age groups	Годы / Years									
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
55–59	14,7	16,9	10,6	17,5	12,3	13,2	15,3	6,5	15,1	15,2
60–64	18,8	17,5	16,9	15,9	18,3	13,7	7,5	16,2	9,8	17,0
65–69	25,6	29,9	26,7	19,5	20,2	20,4	15,2	26,0	21,8	25,6
70–74	12,0	16,7	36,1	42,4	25,5	26,4	33,9	33,0	19,1	32,1
75–79	26,0	18,4	21,5	30,7	21,2	28,1	19,7	24,8	39,5	27,5
80–84	17,5	29,0	30,4	46,0	27,9	35,5	33,1	25,0	34,7	24,3
85+	28,8	20,7	16,9	30,2	41,3	22,6	17,6	41,8	29,7	38,2

Таблица 4. Возрастная заболеваемость меланомой кожи населения старше трудоспособного возраста в сельских районах Самарской области с 2014 по 2023 г. (на 100 000 населения)**Table 4. Age-specific incidence of melanoma skin cancer in the rural elderly population of the Samara Region in 2014–2023 (per 100,000 population)**

Возрастные группы / Age groups	Годы / Years									
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
55–59	6,2	16,1	9,8	9,5	18,7	9,4	11,4	11,9	6,2	10,8
60–64	9,6	25,8	22,8	15,6	21,9	17,1	16,7	8,1	9,9	19,2
65–69	21,4	17,9	15,4	19,7	24,1	25,8	30,2	27,1	34,0	32,6
70–74	21,0	12,7	10,3	17,3	5,6	34,0	44,8	28,2	26,1	24,6
75–79	14,0	20,5	18,9	11,1	23,3	17,8	10,7	26,2	44,0	27,0
80–84	14,7	32,8	17,6	33,9	22,8	26,5	17,4	26,8	21,2	12,1
85+	36,0	10,8	19,9	9,5	27,9	9,4	19,2	19,0	9,1	46,3

Таблица 5. Возрастная заболеваемость меланомой кожи населения старше трудоспособного возраста в Самарской области с 2014 по 2023 г. (на 100 000 населения)**Table 5. Age-specific incidence of melanoma skin cancer in the elderly population of the Samara Region in 2014–2023 (per 100,000 population)**

Возрастные группы / Age groups	Годы / Years									
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
55–59	12,9	16,7	10,4	17,7	13,8	12,3	14,4	7,8	13,0	14,2
60–64	17,0	19,1	18,1	15,8	19,0	14,4	9,5	14,4	9,9	17,5
65–69	24,8	27,6	24,6	19,5	20,9	21,5	18,2	26,2	24,3	27,1
70–74	14,0	10,2	30,6	37,3	21,6	27,9	36,0	32,1	20,5	30,6
75–79	24,4	18,9	20,0	26,3	21,7	25,8	17,7	25,1	40,4	27,4
80–84	16,8	29,8	27,6	43,3	26,8	36,5	29,6	25,4	32,9	21,6
85+	30,2	18,6	13,2	23,4	31,9	17,4	13,5	31,8	22,4	40,0

меланомой кожи в Самарской области населения старшего возраста свидетельствуют о неблагоприятной эпидемиологической ситуации, подтвердив данные других исследований о принадлежности пожилого населения к группе повышенного риска данной патологии.

Так, отмечено, что во всем мире возрастные стандартные показатели заболеваемости меланомой неуклонно растут и достигают пика на седьмом и восьмом десятилетиях жизни. Эта тенденция наблюдается среди большинства групп высокого риска, включая Австралию, Новую Зеландию и Северную Европу [12].

По данным национального канцер-регистра Республики Казахстан, пик заболеваемости ме-

ланомой кожи в 2022 г. наблюдался в возрастных группах 55–64 лет (24 %) и 65–74 лет (25 %) [13], что в сумме составляет почти половину от всех случаев заболевания (49 %). При сравнении в настоящем исследовании за 2022 г. наибольшая доля зарегистрированных случаев заболевания у населения Самарской области (48 %) также была отмечена в этих возрастных группах, но при их раздельном рассмотрении доля зарегистрированных случаев заболевания в возрасте 55–64 года составила 18 %, а в возрастной группе 65–74 года – 30 %.

По данным крупного российского популяционного исследования, наибольший прирост заболеваемости меланомой кожи за период 2000–2022 гг. выявлен в старших возрастных группах. Наивысшие

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-26-35>
Оригинальная исследовательская статья

повозрастные показатели (20–29 на 100 тыс. населения) отмечены среди лиц 65 лет и старше [14], что согласуется с результатами данного исследования заболеваемости меланомой кожи населения Самарской области, в котором также отмечен выраженный прирост заболеваемости с границы 65-летнего возраста и интервал среднего уровня заболеваемости в возрасте 65 лет и старше находится в пределах от 22 в 2014 г. до 29 на 100 тыс. населения в 2023 г.

В 2016 г. в Российской Федерации большинство заболевших (55–60 %) были в возрасте 65 лет и старше. Средний возраст больных мужчин и женщин с выявленной меланомой кожи – 60,5 и 61,4 года соответственно. В старших возрастных группах фиксировались наиболее высокие «грубые» показатели заболеваемости – от 20,86 до 24,24 на 100 тыс. населения, причем самые высокие – в возрасте 80–84 года (28,97 у мужчин и 22,52 у женщин) [15]. В 2019 г. наиболее высокие показатели заболеваемости меланомой кожи в расчете на соответствующий возрастной интервал населения в целом по стране наблюдались от 75 до 79 лет, по Центральному федеральному округу – от 70 до 74 лет. В Москве максимальные показатели заболеваемости были среди населения от 70 до 74 и от 80 лет и старше [12]. Как показали результаты нашего исследования, заболеваемость населения Самарской области меланомой кожи за 2014–2023 гг. отражает возрастные тенденции заболеваемости как в Российской Федерации, так и в г. Москве: на первом месте по среднему уровню заболеваемости меланомой кожи в Самарской области находится возрастная группа 80–84 года (29,0), на втором – 70–74 года (26,1 на 100 тыс. населения).

Ряд эпидемиологических исследований по меланоме кожи, в частности в Сибирском федеральном округе за аналогичный период 2013–2022 гг., показал, что среди мужского и женского населения большая часть случаев заболевания была зарегистрирована также в возрасте от 70 до 84 лет. При этом при сравнении заболеваемости по пятилетним периодам отмечено, что произошло смещение пиков заболеваемости среди мужчин и женщин к более молодой возрастной группе (с 80–84 до 75–79 лет), а также наблюдается статистически значимый рост повозрастных показателей среди мужского населения уже в возрасте 45–49 лет [16], что, очевидно, в дальнейшем требует снижения нижней возрастной границы для изучения эпидемиологических особенностей меланомы кожи.

По результатам настоящего исследования, стандартизованный показатель заболеваемости меланомой кожи среди лиц старше трудоспособного возраста подтвердил тенденцию к росту с 2014 по 2023 г., составив в 2023 г. по области в целом 22,5 на 100 тыс. населения, в городах – 22,1, в сельской местности 21,9 на 100 тыс. населения. При этом наибольший темп роста заболеваемости отмечался среди населения сельских районов – на 52,1 % с 14,4 до 21,9 на 100 тыс. населения.

Результаты ряда исследований в большинстве регионов мира показали, что меланома чаще

встречалась у мужчин [17]. Аналогичная тенденция наблюдается и в Российской Федерации. По данным Малишевской Н.П., Соколовой А.В., Демидова Л.В., в последние годы у мужского населения Российской Федерации регистрируется более высокий уровень заболеваемости меланомой кожи [18]. Данную закономерность подтвердили и результаты настоящего исследования, особенно для мужчин, проживающих в сельской местности. Показано, что заболеваемость меланомой кожи в возрастной группе лиц старше трудоспособного возраста превалирует у мужчин в области и городах, у женщин – в сельских районах, однако темп роста заболеваемости у городских женщин значительно выше, чем у мужчин, проживающих в городах (в 1,4 и 1,1 раза соответственно), а темп роста заболеваемости у мужчин сельской местности превосходит таковой у женщин, проживающих в сельских районах области (в 2,2 и 1,4 раза соответственно).

Выявленная тенденция роста для сельских жителей объясняется сочетанием ряда факторов: более высокий профессиональный риск, связанный с воздействием ультрафиолетового излучения, меньшее использование солнцезащитных средств, неравенство в доступности прежде всего диагностических возможностей (дерматоскопического скрининга), как правило, значительная удаленность и низкая транспортная доступность сельских муниципальных образований, что ведет к позднему обращению за медицинской помощью, а также более высокая доля населения старших возрастов. Для мужчин, больше работающих на открытом воздухе, повышен риск воздействия солнечного ультрафиолета, одного из главных факторов риска развития меланомы. Было показано, что если прерывистое воздействие солнца имеет больший потенциал для развития меланомы, чем постоянное воздействие, в возрасте до 50 лет, то в более старшем возрасте меланома чаще встречается на участках тела, подвергающихся постоянному воздействию солнца [19]. У мужчин самой частой локализацией меланомы являются спина и другие участки туловища, а также голова и шея. Не исключено, что на рост заболеваемости меланомой у мужчин влияет их меньшая настороженность к изменениям на коже, а также в целом более слабая приверженность к профилактическим обследованиям.

Помимо роста истинной заболеваемости, на повышение уровня заболеваемости оказывает влияние увеличение выявляемости заболеваний, поэтому для изучения дифференцированного вклада данных факторов требуются дополнительные исследования.

Наблюдаемый в России в 2010–2019 гг. среди населения старше трудоспособного возраста рост общего числа заболеваний болезнями кожи и подкожной клетчатки всего (на 20 %) и с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 15 %), по мнению А.А. Кубанова и соавт., обусловлен преимущественно процессом демографического старения населения, т. к. произошел 25%-й прирост численности населения этой возрастной группы за данный период. Из-за влияния процессов демографического

старения возрастает потребность населения старшей возрастной группы в специализированной медицинской помощи [20].

Рост уровня заболеваемости в Самарской области в анализируемом периоде связан в том числе с увеличением доли лиц старше трудоспособного возраста в возрастной структуре населения Самарской области (рис. 3).

Как видно из данных, представленных на рис. 3, в городах доля лиц старше трудоспособного возраста с 2014 по 2023 г. увеличилась на 2,9 %, в сельских районах – на 7,8 %, в области в целом – на 3,6 %. Вариабельность удельного веса лиц старше трудоспособного возраста в возрастной структуре населения Самарской области в том числе определила неравномерное изменение уровня заболеваемости в данной возрастной категории.

Самая высокая заболеваемость меланомой регистрируется у населения европейского происхождения в странах с высоким индексом ультрафиолетового излучения (УФИ), таких как Австралия (37,0 ‰), Новая Зеландия (29,8 ‰), а самая низкая – в странах Северной Африки (0,03–0,98 ‰). Такое расхождение связывают с этнической принадлежностью, образом жизни и генетическим фоном [21].

В ранее проведенных популяционных исследованиях по изучению возрастных закономерностей заболеваемости меланомой кожи в Самарской области отмечалось увеличение уровня заболеваемости у лиц старшего возраста, что влияло на общую заболеваемость населения [22]. Известно, что в процессе старения организма активность функционирования иммунной системы начинает снижаться. Механизм распознавания чужих и собственных антигенов становится менее точным, при этом интенсивность иммунных реакций падает. Как следствие, возникают иммунологические дисбалансы в организме, что приводит к повышенному уровню заболеваемости [23].

Важно отметить факт влияния пандемии COVID-19 на оказание медицинской помощи при онкологических заболеваниях. Снижение заболеваемости

меланомой кожи в 2020 г. (особенно в городах Самарской области с 19,9 в 2019 г. до 17,6 на 100 тыс. населения в 2020 г.) полностью соответствует общероссийской тенденции снижения выявляемости онкозаболеваний во время пандемии [24]. Однако последующий резкий рост (до 23,1 на 100 тыс. населения в области в 2023 г.) свидетельствует не только о компенсаторном выявлении, но и о возможном истинном росте заболеваемости, особенно учитывая предположительное действие вируса COVID-19 как «пускового механизма», способного привести к развитию онкологического процесса. Данные обстоятельства, безусловно, требуют дальнейшего мониторинга онкоситуации по меланоме кожи. Как по Самарской области в целом, так и по городам и сельским районам уровень заболеваемости меланомой кожи заметно увеличивается в 2023 г., что также связано с возобновлением проведения профилактических осмотров, диспансеризации, плановых приемов пациентов в смотровых кабинетах в поликлиниках области после пандемии COVID-19. На примере Самарской области для населения старше 60 лет данные факты характерны для всех территориальных образований.

Выводы

1. В настоящее время меланома кожи является актуальной междисциплинарной проблемой (онкологии, общественного здравоохранения, дерматологии, гериатрии и др.) в связи со значимым местом в структуре смертности населения и ростом заболеваемости.

2. За 2014–2023 гг. как в целом по Самарской области, так и по городским и сельским территориальным образованиям произошел рост заболеваемости меланомой кожи населения старшего возраста – на 29,8, 24,5 и 58,6 % соответственно. Наиболее интенсивный и устойчивый рост заболеваемости меланомой кожи наблюдался в сельских районах (коэффициент детерминации $R^2 = 0,488$, $p < 0,05$).

3. Уровень заболеваемости меланомой кожи старших возрастных групп (для села – 18,5 и для города – 20,4 на 100 тыс. населения) в несколько

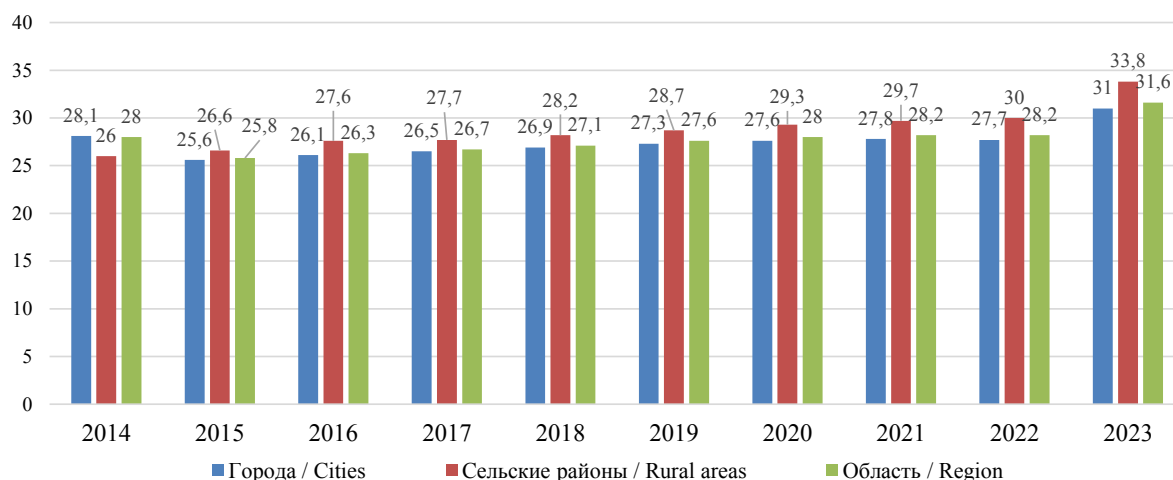


Рис. 3. Доля лиц старше трудоспособного возраста в возрастной структуре населения Самарской области с 2014 по 2023 г. (%)

Fig. 3. The share of elderly people in the total population of the Samara Region in 2014–2023 (%)

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-26-35>
Оригинальная исследовательская статья

раз выше, чем заболеваемость для населения всех возрастных групп в целом по изучаемым территориям (8,6–8,7 на 100 тыс. населения).

4. За изученный период уровень заболеваемости меланомой кожи имел тенденцию к росту как у мужчин, так и у женщин. По области в целом заболеваемость выросла у мужчин на 17,7 %, у женщин – на 37,4 %. Самый заметный прирост заболеваемости отмечен для населения области возрастной группы 65–59 лет, достигая максимума в возрасте 80 лет и старше.

5. Рост заболеваемости меланомой кожи определяет повышенную потребность в разработке и совершенствовании профилактических мероприятий по снижению факторов риска, в ранней диагностике и проведении лечебно-профилактических мероприятий для старшей возрастной группы, особенно проживающей в сельских районах Самарской области, повышении уровня медицинской активности среди населения и онкологической настороженности среди врачей всех специальностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миченко А.В., Жукова О.В., Острецова М.Н., Новожилова О.Л. Введение пациентов с высоким риском развития меланомы кожи: организационные и клинические аспекты // Медицинский совет. 2021. № 8. С. 21–26. doi: 10.21518/2079-701X-2021-8-21-26
2. Гордиенко В.П., Вахненко А.А., Коробкова Т.Н. Рак и меланома кожи у населения восточных регионов России // Дальневосточный медицинский журнал. 2022. № 3. С. 53–60. doi: 10.35177/1994-5191-2022-3-9
3. Miller AJ, Mihm MC Jr. Melanoma. *N Engl J Med*. 2006;355(1):51–65. doi: 10.1056/NEJMra052166
4. Sirvan SS, Eren HI, Yazar SK, et al. Approach to patients with malignant melanoma of unknown primary origin. *Sisli Etfal Hastan Tip Bul*. 2019;53(2):125–131. doi: 10.14744/SEMB.2019.52333
5. Markovic SN, Erickson LA, Rao RD, et al.; Melanoma Study Group of the Mayo Clinic Cancer Center. Malignant melanoma in the 21st century, part 1: Epidemiology, risk factors, screening, prevention, and diagnosis. *Mayo Clin Proc*. 2007;82(3):364–380. doi: 10.4065/82.3.364
6. Чеботарев В.В., Хисматуллина З.Р., Закирова Ю.А. Некоторые аспекты эпидемиологии и диагностики злокачественных новообразований кожи // Креативная хирургия и онкология. 2020. Т. 10. № 1. С. 65–73. doi: 10.24060/2076-3093-2020-10-1-65-73
7. Stang A, Jöckel KH. Does skin cancer screening save lives? A detailed analysis of mortality time trends in Schleswig-Holstein and Germany. *Cancer*. 2016;122(3):432–437. doi: 10.1002/cncr.29755
8. Барабанов А.Л., Зейналлы Н.А. Современные особенности течения меланомы кожи в г. Минске // Дерматовенерология. Косметология. 2020. Т. 6. № 3. С. 150–159. doi: 10.34883/PI.2020.6.3.001
9. Garbe C, Peris K, Hauschild A, et al. Diagnosis and treatment of melanoma. European consensus-based interdisciplinary guideline – Update 2016. *Eur J Cancer*. 2016;63:201–217. doi: 10.1016/j.ejca.2016.05.005
10. Elmore JG, Barnhill RL, Elder DE, et al. Pathologists' diagnosis of invasive melanoma and melanocytic proliferations: Observer accuracy and reproducibility study. *Br Med J*. 2017;357:j2813. doi: 10.1136/bmj.j2813
11. Суслин С.А., Баранова Ж.В., Сиротко М.Л., Орлов А.Е., Сомов А.Н. Возрастно-половые характеристики заболеваемости меланомой кожи в Самарской области // Санитарный врач. 2024. № 8. С. 607–614. doi: 10.33920/med-08-2408-06
12. Арсенюкова О.Ю., Васильев М.Д., Таркинская Д.Ш., Суликова Р.Ю., Мустафеев И.М. Население пожилого возраста в группе повышенного риска по заболеваемости меланомой кожи // Курортная медицина. 2021. № 2. С. 19–25. doi: 10.51871/2304-0343_2021_2_19
13. Тулеуова Д.А., Серикбаев Г.А., Курманалиев А.К., Пысанова Ж.У., Еленбаев А.М. Эпидемиологическое состояние рака кожи и меланомы в Республике Казахстан за 2012–2022 гг. // Онкология и радиология Казахстана. 2024. Т. 71. № 1. С. 12–21. doi: 10.52532/2521-6414-2024-1-71-12-21
14. Мерабишвили В.М., Демидов Л.В. Злокачественная меланома кожи (С43). Распространенность, качество учета, детальная локализационная и гистологическая структура, выживаемость больных (популяционное исследование) // Эффективная фармакотерапия. 2024. Т. 20. № 5. С. 84–92. doi: 10.33978/2307-3586-2024-20-5-84-92
15. Розенко Л.Я., Франциянц Е.М., Гусарева М.А. и др. Клиническая характеристика больных меланомой кожи различных возрастных групп // Русский медицинский журнал. 2020. Т. 4. № 3. С. 137–142. doi: 10.32364/2587-6821-2020-4-3-137-142
16. Богданова В.А., Жуйкова Л.Д., Кононова Г.А., Ананина О.А., Спирина Л.В., Чижевская С.Ю. Эпидемиологические особенности меланомы кожи в Сибирском федеральном округе // Вопросы онкологии. 2024. Т. 70. № 6. С. 1059–1067. doi: 10.37469/0507-3758-2024-70-6-1059-1067
17. Arnold M, Singh D, Laversanne M, et al. Global burden of cutaneous melanoma in 2020 and projections to 2040. *JAMA Dermatol*. 2022;158(5):495–503. doi: 10.1001/jamadermatol.2022.0160
18. Малишевская Н.П., Соколова А.В., Демидов Л.В. Современное состояние заболеваемости меланомой кожи в Российской Федерации и федеральных округах // Медицинский Совет. 2018. № 10. С. 161–165. doi: 10.21518/2079-701X-2018-10-161-165
19. Elwood JM, Gallagher RP. Body site distribution of cutaneous malignant melanoma in relationship to patterns of sun exposure. *Int J Cancer*. 1998;78(3):276–280.
20. Кубанов А.А., Богданова Е.В. Эпидемиология болезней кожи и подкожной клетчатки и оказание специализированной медицинской помощи в трех возрастных группах населения в 2010–2020 гг. в Российской Федерации // Национальное здравоохранение. 2022. Т. 3. № 1. С. 15–24. doi: 10.47093/2713-069X.2022.3.1.15-24
21. Богданова В.А., Спирина Л.В., Чижевская С.Ю. и др. Современные представления о клинкоэпидемических и молекулярно-генетических особенностях меланомы кожи и слизистых // Успехи молекулярной онкологии. 2024. Т. 11. № 1. С. 22–30. doi: 10.17650/2313-805X2024-11-1-22-30
22. Неретин Е.Ю., Утяшев И.А. Заболеваемость меланомой кожи среди различных групп населения Самарской области // Саратовский научно-медицинский журнал. 2018. Т. 4. № 1. С. 16–19.
23. Rastrelli M, Tropea S, Rossi CR, Alaibac M. Melanoma: Epidemiology, risk factors, pathogenesis, diagnosis and classification. *In Vivo*. 2014;28(6):1005–1011.
24. Жуйкова Л.Д., Ананина О.А., Одицова И.Н., Пикалова Л.В., Кононова Г.А. Динамика заболеваемости злокачественными новообразованиями населения городов – административных центров Сибири и Дальнего Востока // Профилактическая медицина. 2023. Т. 26. № 2. С. 31–40. doi: 10.17116/profmed20232602131

REFERENCES

1. Michenko AV, Zhukova OV, Ostretsova MN, Novozhilova OL. Management of patients at high risk of developing skin melanoma: Organizational and clinical aspects. *Meditnskiy Sovet*. 2021;(8):21–26. (In Russ.) doi: 10.21518/2079-701X-2021-8-21-26
2. Gordienko VP, Vahnenko AA, Korobkova TN. Cancer and skin melanoma in population of the Eastern regions of Russia. *Dal'nevostochnyy Meditsinskiy Zhurnal*. 2022;(3):53–60. (In Russ.) doi: 10.35177/1994-5191-2022-3-9
3. Miller AJ, Mihm MC Jr. Melanoma. *N Engl J Med*. 2006;355(1):51–65. doi: 10.1056/NEJMra052166
4. Sirvan SS, Eren HI, Yazar SK, et al. Approach to patients with malignant melanoma of unknown primary origin. *Sisli Etfal Hastan Tip Bul*. 2019;53(2):125–131. doi: 10.14744/SEMB.2019.52333
5. Markovic SN, Erickson LA, Rao RD, et al.; Melanoma Study Group of the Mayo Clinic Cancer Center. Malignant melanoma in the 21st century, part 1: Epidemiology, risk factors, screening, prevention, and diagnosis. *Mayo Clin Proc*. 2007;82(3):364–380. doi: 10.4065/82.3.364
6. Chebotarev VV, Zakirova YA, Khismatullina ZR. Some aspects of the epidemiology and diagnostics of malignant skin neoplasms. *Kreativnaya Khirurgiya i Onkologiya*. 2020;10(1):65–73. (In Russ.) doi: 10.24060/2076-3093-2020-10-1-65-73
7. Stang A, Jöckel KH. Does skin cancer screening save lives? A detailed analysis of mortality time trends in Schleswig-Holstein and Germany. *Cancer*. 2016;122(3):432–437. doi: 10.1002/cncr.29755
8. Barabanau A, Zeynalli N. Contemporary peculiarities of cutaneous melanomas in Minsk. *Dermatovenerologiya. Kosmetologiya*. 2020;6(3):150–159. (In Russ.) doi: 10.34883/PI.2020.6.3.001
9. Garbe C, Peris K, Hauschild A, et al. Diagnosis and treatment of melanoma. European consensus-based interdisciplinary guideline – Update 2016. *Eur J Cancer*. 2016;63:201–217. doi: 10.1016/j.ejca.2016.05.005
10. Elmore JG, Barnhill RL, Elder DE, et al. Pathologists' diagnosis of invasive melanoma and melanocytic proliferations: Observer accuracy and reproducibility study. *Br Med J*. 2017;357:j2813. doi: 10.1136/bmj.j2813
11. Suslin SA, Barinova ZhV, Sirotko ML, Orlov AE, Somov AN. Age-sex characteristics of the incidence of melanoma of the skin in the Samara region. *Sanitarnyy Vrach*. 2024;(8):606–614. (In Russ.) doi: 10.33920/med-08-2408-06
12. Arseenkova OYu, Vasiliev MD, Tarkinskaya DSh, Sulikova RYu, Mustafaeiev IM. Elderly population at high risk for skin melanoma incidence. *Kurortnaya Meditsina*. 2021;(2):19–25. (In Russ.) doi: 10.51871/2304-0343_2021_2_19
13. Tuleuova DA, Serikbayev GA, Kurmanaliev AIFK, Py-sanova ZhU, Elekbayev AM. Epidemiological situation of skin cancer and melanoma in the Republic of Kazakhstan in 2012–2022. *Oncology and Radiology of Kazakhstan*. 2024;(1(71)):12–21. doi: 10.52532/2663-4864-2024-1-71-12-21
14. Merabishvili VM, Demidov LV. Malignant melanoma of the skin (C43). Prevalence, quality of accounting, detailed localization and histological structure, patient survival (population study). *Effektivnaya Farmakoterapiya*. 2024;20(5):84–92. (In Russ.) doi: 10.33978/2307-3586-2024-20-5-84-92
15. Rozenko LYa, Frantsiyants EM, Gusareva MA, et al. Clinical characteristics of cutaneous melanoma in patients of different age. *RMJ. Meditsinskoe Obozrenie*. 2020;4(3):137–142. (In Russ.) doi: 10.32364/2587-6821-2020-4-3-137-142
16. Bogdanova VA, Zhuikova LD, Kononova GA, Ananina OA, Spirina LV, Chizhevskaya SYu. Epidemiological features of cutaneous melanoma in the Siberian Federal District. *Voprosy Onkologii*. 2024;70(6):1059–1067. (In Russ.) doi: 10.37469/0507-3758-2024-70-6-1059-1067
17. Arnold M, Singh D, Laversanne M, et al. Global burden of cutaneous melanoma in 2020 and projections to 2040. *JAMA Dermatol*. 2022;158(5):495–503. doi: 10.1001/jamadermatol.2022.0160
18. Malishevskaya NP, Sokolova AV, Demidov LV. The incidence of skin melanoma in the Russian Federation and federal districts. *Meditnskiy Sovet*. 2018;(10):161–165. (In Russ.) doi: 10.21518/2079-701X-2018-10-161-165
19. Elwood JM, Gallagher RP. Body site distribution of cutaneous malignant melanoma in relationship to patterns of sun exposure. *Int J Cancer*. 1998;78(3):276–280.
20. Kubanov AA, Bogdanova EV. Epidemiology of diseases of the skin and subcutaneous tissue and specialized medical care provided in three age groups of the population in 2010–2020 in the Russian Federation. *Natsional'noe Zdravookhranenie*. 2022;3(1):15–24. (In Russ.) doi: 10.47093/2713-069X.2022.3.1.15-24
21. Bogdanova VA, Spirina LV, Chizhevskaya SYu, Kovaleva IV, Nikulnikov KV. Contemporary views on the clinical, epidemiological and molecular genetic characteristics of melanoma of the skin and mucous membranes. *Uspekhi Molekulyarnoy Onkologii*. 2024;11(1):22–30. (In Russ.) doi: 10.17650/2313-805X-2024-11-1-22-30
22. Neretin EYu, Utyashev IA. Morbidity by skin melanoma among various population groups of Samara Region. *Saratovskiy Nauchno-Meditsinskiy Zhurnal*. 2018;14(1):16–19. (In Russ.)
23. Rastrelli M, Tropea S, Rossi CR, Alaibac M. Melanoma: Epidemiology, risk factors, pathogenesis, diagnosis and classification. *In Vivo*. 2014;28(6):1005–1011.
24. Zhuikova LD, Ananina OA, Odintsova IN, Pikalova LV, Kononova GA. Trends in cancer incidence in the administrative centers of Siberia and the Russian Far East. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2023;26(2):31–40. (In Russ.) doi: 10.17116/profmed20232602131

Сведения об авторах:

Суслин Сергей Александрович – д.м.н., профессор кафедры организации здравоохранения и общественного здоровья с курсом оценки технологий здравоохранения ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; заведующий кафедрой организации здравоохранения, общественного здоровья и права ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: sasuslin@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2277-216X>.

Баринова Жанна Владимировна – к.м.н., доцент кафедры организации здравоохранения, общественного здоровья и права ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: barinovazv@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6355-5623>.

✉ **Сиротко Майя Леонидовна** – к.м.н., доцент кафедры организации здравоохранения, общественного здоровья и права ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: sirotkoml@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4998-0279>.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-26-35>

Оригинальная исследовательская статья

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Суслин С.А.*; сбор данных: *Баринаова Ж.В.*; анализ и интерпретация результатов: *Баринаова Ж.В.*, *Сиротко М.Л.*; литературный обзор: *Баринаова Ж.В.*, *Сиротко М.Л.*; подготовка рукописи: *Суслин С.А.*, *Баринаова Ж.В.*, *Сиротко М.Л.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: проведение настоящего исследования не требовало одобрения этического комитета.

Финансирование: исследование проведено без внешнего финансирования.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья получена: 18.09.25 / Принята к публикации: 10.02.26 / Опубликовано: 27.02.26

Author information:

Sergey A. **Suslin**, Dr. Sci. (Med.); Professor, Department of Healthcare Organization and Public Health with a course in Healthcare Technology Assessment, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; Head of the Department of Healthcare Organization, Public Health and Law, Samara State Medical University; e-mail: sasuslin@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2277-216X>.

Zhanna V. **Barinova**, Cand. Sci. (Med.); Associate Professor, Department of Healthcare Organization, Public Health and Law, Samara State Medical University; e-mail: barinovazv@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6355-5623>.

✉ Maiya L. **Sirotko**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Healthcare Organization, Public Health and Law, Samara State Medical University; e-mail: sirotkoml@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4998-0279>.

Author contributions: study conception and design: *Suslin S.A.*; data collection: *Barinova Zh.V.*; analysis and interpretation of results: *Barinova Zh.V.*, *Sirotko M.L.*; bibliography compilation and referencing: *Barinova Zh.V.*, *Sirotko M.L.*; draft manuscript preparation: *Suslin S.A.*, *Barinova Zh.V.*, *Sirotko M.L.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: September 18, 2025 / Accepted: February 10, 2026 / Published: February 27, 2026



Связь генетических факторов регуляции артериального давления и параметров индивидуальной жизнеспособности у пожилых жителей европейского Севера России

Н.А. Бебякова¹, Е.А. Кригер¹, С.Н. Левицкий¹, И.А. Шабалина¹, Л.В. Поскотинова^{1,2}, Р.Н. Зеленцов¹,
М.А. Синайская¹, А.А. Моисеева¹, Е.В. Кривоногова², О.В. Кривоногова², Н.И. Печинкина¹,
Ю.М. Звездина¹, А.В. Кудрявцев¹

¹ ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России,
пр-т Троицкий, д. 51, г. Архангельск, 163000, Российская Федерация

² ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова»
УрО РАН, пр-т Никольский, д. 20, г. Архангельск, 163020, Российская Федерация

Резюме

Введение. Определение генетических факторов регуляции артериального давления важно для прогнозирования индивидуальной жизнеспособности (ИЖ) у пожилых жителей европейского Севера России.

Цель исследования: изучение связей однонуклеотидных вариантов генов (SNVs), вовлеченных в регуляцию артериального давления, с функциональными показателями ИЖ у лиц 60–74 лет, проживающих на европейском Севере России.

Материалы и методы. Обследовано 611 жителей в Архангельской области (36,8 % – мужчины) с оценкой социально-демографического статуса, артериальной гипертензии, параметров двигательного, сенсорного, когнитивно-психологического доменов ИЖ и генотипов шести SNVs генов *AGT* (rs699, rs4762), *AGTR1* (rs5186), *ACE* (rs4646994), *NOS3* (rs2070744), *EDN1* (rs5370). Статистический анализ выполнен с применением линейной, логистической и квантильной регрессии с поправкой на возраст и пол.

Результаты. Аллель С *AGTR1* (rs5186) был связан с большей силой сжатия кисти (+1,9 кг/м²; $p = 0,045$) и снижением шансов нарушения слуха ($p = 0,040$). У гетерозигот (AC) *AGTR1* (rs5186) шансы нарушения слуха были в два раза ниже по сравнению с гомозиготами (AA) ($p = 0,020$). Аллель С *AGT* (rs4762) связан со снижением шансов нарушения зрения в 4,2 раза ($p = 0,030$), тогда как генотип TT – с повышением шансов в 3,9 раза ($p = 0,037$). Генотип CC *NOS3* (rs2070744) был ассоциирован с большей выраженностью симптомов депрессии ($p = 0,030$), а аллель G *EDN1* (rs5370) – с их меньшей выраженностью ($p = 0,039$).

Заключение. Выявлено несколько генетических биомаркеров снижения функциональных показателей ИЖ у пожилых жителей европейского Севера России: аллель Т *AGT* (rs4762) (острота зрения), аллель С *NOS3* (rs2070744) (симптомы депрессии). Сохранение функциональных показателей ИЖ ассоциировалось с аллелем С *AGTR1* (rs5186) (острота слуха, сила сжатия кисти) и аллелем G *EDN1* (rs5370) (симптомы депрессии).

Ключевые слова: индивидуальная жизнеспособность, пожилой возраст, однонуклеотидные варианты, гены, артериальное давление, Север.

Для цитирования: Бебякова Н.А., Кригер Е.А., Левицкий С.Н., Шабалина И.А., Поскотинова Л.В., Зеленцов Р.Н., Синайская М.А., Моисеева А.А., Кривоногова Е.В., Кривоногова О.В., Печинкина Н.И., Звездина Ю.М., Кудрявцев А.В. Связь генетических факторов регуляции артериального давления и параметров индивидуальной жизнеспособности у пожилых жителей европейского Севера России // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 34. № 2. С. 36–49. doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-36-49

Association between Genetic Factors of Blood Pressure Regulation and Intrinsic Capacity Parameters in Elderly Residents of the European North of Russia

Natalya A. Bebyakova,¹ Ekaterina A. Krieger,¹ Sergey N. Levitskiy,¹ Irina A. Shabalina,¹ Liliya V. Poskotinova,^{1,2}
Roman N. Zelentsov,¹ Mariya A. Sinayskaya,¹ Aleksandra A. Moiseeva,¹ Elena V. Krivonogova,²
Olga V. Krivonogova,² Natalia I. Pechinkina,¹ Julia M. Zvezdina,¹ Alexander V. Kudryavtsev¹

¹ Northern State Medical University, 51 Troitsky Avenue, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation

² N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
20 Nikolsky Avenue, Arkhangelsk, 163020, Russian Federation

Summary

Introduction: Identification of genetic factors of blood pressure regulation is important for predicting intrinsic capacity (IC) in the elderly residents of the European North of Russia.

Objective: To investigate the associations between single nucleotide variants (SNVs) of the genes involved in blood pressure regulation with functional IC indicators in people aged 60–74 years living in the European North of Russia.

Materials and Methods: We examined 611 residents of the Arkhangelsk Region, 36.8 % of whom were men, and assessed their socio-demographic status, the presence of arterial hypertension, parameters of the locomotor, sensory, and cognitive, and psychological IC domains, and genotypes of six SNVs in the genes *AGT* (rs699, rs4762), *AGTR1* (rs5186), *ACE* (rs4646994), *NOS3* (rs2070744), and *EDN1* (rs5370). Statistical analysis was performed using linear, logistic, and quantile regressions with adjustments for age and sex.

Results: The C allele of the *AGTR1* gene (rs5186) was associated with greater handgrip strength (+1.9 kg/m²; $p = 0.045$) and lower odds of hearing impairment ($p = 0.040$). Heterozygotes AC of the *AGTR1* gene (rs5186) had two times lower odds of hearing impairment compared to AA homozygotes ($p = 0.020$). The C allele of the *AGT* gene (rs4762) was associated with 4.2-fold lower odds of visual acuity reduction ($p = 0.030$), whereas the TT genotype was associated with a 3.9-fold higher odds ($p = 0.037$). The CC genotype of the *NOS3* gene (rs2070744) was associated with higher depression symptom scores ($p = 0.030$) whereas the G allele of the *EDN1* gene (rs5370) – with lower scores ($p = 0.039$).

Conclusions: We identified several genetic biomarkers of reduced functional IC parameters in elderly residents of the European North of Russia, namely the T allele of the *AGT* gene (rs4762) (visual acuity) and the C allele of the *NOS3* gene (rs2070744) (depression symptoms). The sustained functional IC parameters were associated with the C allele of the *AGTR1* gene (rs5186) (hearing acuity, handgrip strength), and the G allele of the *EDN1* gene (rs5370) (depression symptoms).

Keywords: intrinsic capacity, elderly population, single nucleotide variants, genes, blood pressure, North.

Cite as: Bebyakova NA, Krieger EA, Levitskiy SN, Shabalina IA, Poskotinova LV, Zelentsov RN, Sinayskaya MA, Moiseeva AA, Krivonogova EV, Krivonogova OV, Pechinkina NI, Zvezdina JM, Kudryavtsev AV. Association between genetic factors of blood pressure regulation and intrinsic capacity parameters in elderly residents of the European North of Russia. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2026;34(2):36–49. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-36-49

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-36-49>
Оригинальная исследовательская статья

Введение. Сохранение индивидуальной жизнеспособности человека является важным условием активного долголетия. Здоровое старение характеризуется наличием оптимального соотношения физических, сенсорных, когнитивных и психологических способностей – ключевых составляющих, доменов индивидуальной жизнеспособности (intrinsic capacity) [1]. Во многих этнических популяциях мира, особенно в странах с высокой долей пожилого населения, проводится формирование системы шкал оценки индивидуальной жизнеспособности пожилых людей в разрезе ее доменов, что необходимо для разработки стратегий сохранения здоровья национальных сообществ [2].

Формирование адаптивных стратегий сохранения здоровья и структура рисков развития «краевой» патологии у жителей Севера зависят от социально-экономического статуса и длительности проживания в условиях воздействия северного климата [3]. Сохранение устойчивого популяционного присутствия в северных регионах обеспечивается в первую очередь лицами среднего и пожилого возраста, сохраняющими традиции проживания на северных землях поколений. На территории Архангельска и Архангельской области высока представленность жителей, проживающих на данной территории на протяжении двух и более поколений, что дает основание считать их «укорененными» жителями, или, с точки зрения генетики, коренными жителями данной территории [4]. Есть основание полагать, что в возрасте старше 60 лет у северян формируются не только характерные признаки «краевой» патологии регуляторных систем организма, снижающие общую продолжительность жизни, но и остаются активными механизмы адаптации. Адаптационные механизмы обеспечивают поддержание функциональной независимости, социальной и трудовой активности и обусловлены генетическими факторами.

Наследственно детерминированные факторы вносят существенный вклад в физическое, сенсорное и когнитивно-психологическое функционирование пожилых людей. Особое значение могут иметь гены, вовлеченные в регуляцию артериального давления. Полиморфные варианты генов-кандидатов, регулирующих вазоактивные факторы эндотелия, могут обуславливать развитие патологии сердечно-сосудистой системы, а также развитие функциональных нарушений в пожилом возрасте, и могут выступать биомаркерами индивидуальной жизнеспособности [5]. Выявлено от 20 до 40 полиморфных вариантов генов, ассоциированных с развитием и прогрессированием заболеваний у пожилых людей [6]. Среди этих вариантов генов наиболее активно изучаются гены ренин-ангиотензиновой системы (РАС): ангиотензиногена *AGT* (rs699 и rs4762), рецептора 1-го типа ангиотензина II *AGTR1* (rs5186), ангиотензин-превращающего фермента *ACE* (rs4646994), а также ген эндотелиальной NO-синтазы *NOS3* (rs2070744) и эндотелина-1 *EDN1* (rs5370).

Ген *AGT* кодирует белок ангиотензиноген, *AGTR1* кодирует рецептор 1-го типа ангиотензина II (ATII), а *ACE* – ангиотензин-превращающий фермент. Экспериментальные данные показали связь инсерционно-делеционного варианта rs4340

гена *ACE* (генотипы ID и DD) с повреждением ДНК, наиболее часто встречающиеся в пожилом возрасте [7]. Имеются убедительные данные о связи данного варианта с сердечно-сосудистыми заболеваниями и преждевременной смертностью. Так, у лиц старше 60 лет выявлено снижение частоты генотипа II гена *ACE*, которое становится статистически значимым после 70 лет, что может указывать на меньшую продолжительность жизни носителей этого генотипа [8].

Генотип ID rs4646994 гена *ACE* также ассоциирован с когнитивными нарушениями, однако данные литературы противоречивы. В исследовании Liu M.E. и соавт. [9] показано, что у пациентов без деменции данный аллельный вариант не ассоциирован с когнитивной функцией, однако в другом исследовании такая ассоциация выявлена [10]. Вариант rs5186 гена *AGTR1* также ассоциирован с когнитивными нарушениями у пожилых людей, в литературе описаны ассоциации с атрофией гиппокампа и когнитивными нарушениями [11]. Также показано, что генотип CC варианта rs5186 гена *AGTR1* сопряжен с развитием депрессии и отосклерозом, приводящим к тугоухости [12, 13]. Носители аллеля T варианта Lys198Asn (rs5370) гена *EDN1* также подвержены высокому риску снижения слуха [14].

Ткани глаза взрослого человека имеют свою собственную внутриглазную РАС. Экспрессия компонентов РАС в сосудистой оболочке глаза и сетчатке выше, чем в роговице, конъюнктиве и склере. Также показано, что компоненты местной РАС вовлечены в физиологию глаза, способны опосредовать патологические процессы, например, способствовать развитию диабетической ретинопатии, склеротических изменений сосудов сетчатки, дегенерации желтого пятна, а также нарушению регуляции внутриглазного давления, развитию глаукомы [15]. Ген *NOS3*, кодирующий фермент стимулирующий синтез оксида азота (NO), играет ключевую роль в регуляции сосудистого тонуса, кровотока, внутриглазного давления. Носительство аллеля C однонуклеотидного варианта rs2070744 гена *NOS3* рассматривается как фактор риска, а генотип CC ассоциирован с повышенной вероятностью развития глаукомы [16].

Таким образом, литературные данные свидетельствуют о вовлечении вариантов генов, определяющих синтез вазоактивных факторов и влияющих на обеспечение адекватного кровотока всех органов и тканей, в формирование функциональных способностей, определяющих индивидуальную жизнеспособность пожилого человека. В связи с этим целью данного исследования было оценить связь однонуклеотидных вариантов генов, вовлеченных в регуляцию артериального давления, с показателями двигательного, сенсорного, когнитивно-психологического доменов индивидуальной жизнеспособности у лиц 60–74 лет, проживающих на европейском Севере России.

Материалы и методы. В рамках проекта «Биомаркеры индивидуальной жизнеспособности у жителей Европейского Севера России» (далее – БИЖ) проведено поперечное исследование

с участием выборки пожилого населения. Выборка сформирована из участников популяционного исследования «Узнай свое сердце» ($n = 2380$), проведенного в 2015–2017 годах с использованием случайной выборки взрослого населения Архангельска возрасте 35–69 лет, сформированной на основе обезличенной базы данных регионального фонда обязательного медицинского страхования (доля отклика – 68,0 %). Детальное описание способа формирования выборки исследования «Узнай свое сердце» представлено в статье Cook S. и соавторов [17]. В 2023 году 982 участникам исследования «Узнай свое сердце», находящимся в возрасте 60–74 лет (пожилой возраст согласно классификации всемирной организации здравоохранения), проживающим в Архангельской области не менее 10 лет и ранее давшим согласие на приглашение к участию в дальнейших исследованиях, было предложено участие в БИЖ. Критериями исключения были наличие заболеваний, требующих психиатрического лечения. Приняли участие в исследовании 611 человек (доля отклика – 62,2 %).

Исследование БИЖ проходило в консультативно-диагностической поликлинике Северного государственного медицинского университета (Архангельск) и включало опрос, инструментальное обследование для оценки показателей двигательного, сенсорного, когнитивно-психологического доменов индивидуальной жизнеспособности, проведение молекулярно-генетического анализа. При проведении устного опроса участников собирались сведения о социально-демографических характеристиках, включая возраст (годы), пол (мужской/женский), уровень образования (наличие/отсутствие высшего образования), наличие постоянной работы (полная/частичная занятость по найму, в качестве индивидуального предпринимателя или самозанятого); семейное положение (состоит/не состоит в зарегистрированном или гражданском браке); курение (сообщение о курении на момент опроса); место рождения участника, место рождения родителей и родителей каждого из родителей (три поколения). Участников, у которых не менее двух предшествующих поколений со стороны обоих родителей родились в Архангельской области, считали коренными жителями области. Остальных участников рассматривали как некоренных жителей.

Артериальную гипертензию определяли как систолическое артериальное давление > 140 мм рт. ст. и/или диастолическое артериальное давление > 90 мм рт. ст. и/или сообщение о приеме гипотензивных препаратов.

Оценка показателей двигательного домена включала проведение краткой батареи тестов физического функционирования (КБТФФ) и измерение силы сжатия кисти. Результат ≤ 9 баллов по КБТФФ использовался как критерий наличия начальной стадии старческой астении (преастении). Сила сжатия кисти (в кг/м²) измерялась с использованием цифрового ручного динамометра Jamar + Digital Dynamometer; фиксировался наилучший результат из шести попыток в соответствии с протоколом Southampton [18]. Показатели сенсорного домена включали остроту зрения и слуха. Острота зрения

вдаль определялась с использованием таблиц Сивцева-Головина. Снижение остроты зрения фиксировалось при значении ниже $\leq 0,7$ усл. ед. для лучше видящего глаза с максимальной коррекцией (< 10 -го перцентиля для исследуемой выборки). Острота слуха оценивалась по расстоянию восприятия шепотной речи (от 0 до 6 м). Снижение слуха определялось как дистанция восприятия шепотной речи лучше слышащим ухом $\leq 2,5$ метра (< 10 -го перцентиля для исследуемой выборки). Оценка когнитивно-психологического домена включала использование Монреальской шкалы когнитивной оценки (Montreal Cognitive Assessment – MoCA) и шкалы депрессии Бека.

Цельную кровь для молекулярно-генетического анализа собирали из локтевой вены в вакуумные пробирки с ЭДТА в качестве антикоагулянта. Хранение и транспортировку биообразцов в лабораторию осуществляли при соблюдении температурного режима $+4$ °C. После доставки вакутейнеры с цельной кровью замораживали при -20 °C до проведения исследования. Из лейкоцитов выделяли геномную ДНК с использованием реагентов «Литех» (Россия). Определение генотипов шести однонуклеотидных вариантов (далее SNVs – Single nucleotide variants) в генах, вовлеченных в регуляцию артериального давления (AGT (rs699, rs4762), AGTR1 (rs5186), ACE (rs4646994), NOS3 (rs2070744), EDN1 (rs5370)), проводили методом полимеразной цепной реакции в реальном времени с использованием амплификатора LightCycler-96 (Roche, Швейцария/Германия). Для пяти SNVs (кроме SNV гена EDN1(rs5370)) применяли флуоресцентные гидролизные зонды: аллель 1 – мечен флуорофором HEX, аллель 2 – FAM. Аллельная дискриминация достигалась за счет различной эффективности деградации зонда Taq-полимеразой. SNV гена EDN1 (rs5370) определяли двумя параллельными реакциями с аллель-специфичными праймерами и интеркалирующим красителем SYBR Green. Результаты генотипирования вносили в электронную базу данных с последующей проверкой на соответствие бумажным протоколам.

Категориальные переменные представлены в виде абсолютных чисел (n) и процентных долей (%). Количественные переменные описывались в зависимости от характера распределения: при нормальном – как среднее значение с указанием стандартного отклонения ($M \pm SD$), при скошенном – как медиана (Me) с минимальным и максимальным значением (Min–Max) или с межквартильным интервалом (Q1–Q3). Проверка нормальности распределения количественных признаков проводилась с использованием визуальной оценки распределения данных и критерия Шапиро – Уилка.

Для сравнения независимых групп по количественным показателям применялись t -тест и дисперсионный анализ (ANOVA – analysis of variance). При наличии отклонений от нормального распределения использовались непараметрические альтернативы: критерий Манна – Уитни и тест Краскела – Уоллиса. Сравнение групп по категориальным признакам проводилось с применением критерия хи-квадрат (χ^2) Пирсона.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-36-49>

Оригинальная исследовательская статья

Для оценки связи между генотипами и наличием артериальной гипертензии использовалась логистическая регрессия с корректировкой на возраст и пол; зависимая переменная – наличие артериальной гипертензии (1 – есть, 0 – нет). Результаты представлены в виде отношения шансов (ОШ) и 95 % доверительных интервалов (ДИ).

Связь между генотипами и аллелями SNVs генов-кандидатов, вовлеченных в регуляцию артериального давления, и показателями двигательного домена индивидуальной жизнеспособности оценивалась с помощью логистической и линейной регрессий, скорректированных на возраст и пол. В логистической модели в качестве бинарной зависимой переменной использовался результат КБТФФ (1 – наличие признаков астении (≤ 9 баллов), 0 – отсутствие признаков астении (> 9 баллов)). Результаты представлены в виде ОШ и 95 % ДИ. В линейной модели непрерывной зависимой выступала сила сжатия кисти (в кг). Результаты представлены в виде регрессионных коэффициентов (В) и 95 % ДИ.

Связь генетических вариантов с показателями сенсорного домена (снижение зрения, снижение слуха) оценивалась с использованием логистической регрессии с поправкой на возраст и пол. Зависимыми переменными служили бинарные признаки: снижение остроты зрения вдаль (1 – $\leq 0,7$ усл. ед. по лучшему глазу с максимальной коррекцией, 0 – $> 0,7$ усл. ед.) и снижение слуха (1 – восприятие шепотной речи на расстоянии ≤ 2 м лучшим ухом, 0 – > 2 м). Результаты представлены в виде ОШ и 95 % ДИ.

Ассоциации между генотипами и балльными оценками когнитивных функций (по шкале MoCA) и признаков депрессии (по шкале Бека) анализировались с использованием квантильной (медианной) регрессии, с коррекцией на возраст и пол. Результаты представлены в виде регрессионных коэффициентов (В), отражающих различия медиан между группами, с указанием 95 % ДИ.

Статистически значимыми считались различия и ассоциации при $p < 0,05$. Все расчеты выполнялись с использованием программного обеспечения Stata 18.0 (StataCorp).

Исследование БИЖ одобрено локальным этическим комитетом СГМУ (Архангельск) Минздрава России (протокол № 03/04-23 от 26.04.2023). Все участники предоставили письменное добровольное информированное согласие.

Результаты. В исследование включено 611 участников в возрасте от 60 до 74 лет; медиана возраста составила 67 лет (36,8 % – мужчины). Более 30,0 % были коренными жителями Архангельской области, 78,6 % имели артериальную гипертензию. Характеристики участников исследования представлены в таблице 1.

Участники с артериальной гипертензией были статистически значимо старше (медиана возраста 67,4 года против 64,7 лет; $p < 0,001$), реже имели постоянную занятость (27,7 % против 40,5 %; $p = 0,005$) и реже курили (11,5 % против 19,9 %; $p = 0,012$) по сравнению с участниками без артериальной гипертензии (табл. 2).

В таблице 3 представлено распределение генотипов и аллелей SNVs шести генов-кандидатов (AGT rs699, AGTR1 rs5186, ACE rs4646994, AGT rs4762, NOS3 rs2070744, EDN1 rs5370), вовлеченных в регуляцию артериального давления, по возрасту, полу и принадлежности к коренному населению Архангельской области. Статистически значимых ассоциаций между SNVs и исследуемыми демографическими признаками выявлено не было.

Результаты проведенного анализа, представленные в таблице 4, не подтвердили наличия статистически значимых ассоциаций между генотипами и аллелями SNVs шести генов-кандидатов, вовлеченных в регуляцию артериального давления, и фактическим наличием артериальной гипертензии у жителей Архангельской области в возрасте 60–74 лет.

Таблица 1. Характеристики анализируемой выборки жителей Архангельска 60–74 лет

Table 1. Description of the study sample of Arkhangelsk residents aged 60–74

Характеристики / Characteristics	$n = 611$
Возраст, годы / Age, years; Me (Min-Max) ^a	67,0 (60,0–74,0)
Пол, мужской / Male sex, n (%)	225 (36,8)
Коренной житель Архангельской области / Native resident of the Arkhangelsk Region ^b , n (%)	200 (32,8)
Высшее образование / Higher education, n (%)	189 (30,9)
Наличие постоянной работы / Stable employment ^c , n (%)	186 (30,4)
Зарегистрированный или гражданский брак / Married or cohabiting, n (%)	340 (55,7)
Курение / Smoking, n (%)	81 (13,3)
Артериальная гипертензия / Arterial hypertension ^d , n (%)	480 (78,6)
– Систолическое артериальное давление, мм рт. ст. / Systolic blood pressure, mmHg, $M \pm SD$ ^e	138,2 $\pm$ 21,0
– Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст. / Diastolic blood pressure, mmHg, $M \pm SD$	81,5 $\pm$ 10,8
– Прием гипотензивных препаратов / Use of antihypertensive medications, n (%)	379 (62,0)

Примечание: ^aМедиана с минимальным и максимальным значением, ^bНе менее двух предшествующих поколений со стороны отца и матери родились в Архангельской области; ^cПолная или частичная занятость по найму, в качестве индивидуального предпринимателя или самозанятого; ^dСистолическое артериальное давление > 140 мм рт. ст. и/или диастолическое артериальное давление > 90 мм рт. ст. и/или сообщение о приеме гипотензивных препаратов; ^eСреднее значение $\pm$ стандартное отклонение.

Notes: ^aMedian with minimum and maximum values; ^bAt least two previous generations on both sides were born in the Arkhangelsk Region; ^cFull-time or part-time employment as a hired worker, individual entrepreneur, or self-employed person; ^dSystolic blood pressure > 140 mmHg and/or diastolic blood pressure > 90 mmHg and/or self-reported use of antihypertensive medication; ^eMean $\pm$ standard deviation.

Таблица 2. Характеристики анализируемой выборки жителей Архангельска 60–74 лет в зависимости от наличия артериальной гипертензии**Table 2. Description of the study sample of Arkhangelsk residents aged 60–74 years by arterial hypertension status**

Характеристики / Characteristics	Артериальная гипертензия / Arterial hypertension ^a		<i>p</i> ^b
	Нет / No <i>n</i> = 131	Есть / Yes <i>n</i> = 480	
Возраст, лет / Age, years, Me (Min–Max) ^c	64,7(60,0–74,0)	67,4 (60,0–74,0)	< 0,001
Пол, мужской / Male sex, <i>n</i> (%)	44 (33,6)	181 (37,7)	0,386
Коренной житель Архангельской области / Native resident of the Arkhangelsk Region ^d , <i>n</i> (%)	45 (34,4)	155 (32,4)	0,667
Высшее образование / Higher education, <i>n</i> (%)	49 (37,4)	140 (29,2)	0,071
Наличие постоянной работы / Stable employment ^e , <i>n</i> (%)	53(40,5)	133 (27,7)	0,005
Зарегистрированный или гражданский брак / Married or cohabiting, <i>n</i> (%)	71 (54,2)	269 (56,0)	0,707
Курение / Smoking, <i>n</i> (%)	26 (19,9)	55(11,5)	0,012

Примечание: ^aСистолическое артериальное давление > 140 мм рт. ст. и/или диастолическое артериальное давление > 90 мм рт. ст. и/или сообщение о приеме гипотензивных препаратов; ^bТест Манна – Уитни для сравнения по возрасту, тест χ^2 Пирсона для сравнения по качественным признакам; ^cМедиана с минимальным и максимальным значением; ^dНе менее двух предшествующих поколений со стороны отца и матери родились в Архангельской области; ^eПолная или частичная занятость по найму, в качестве индивидуального предпринимателя или самозанятого.

Note: ^aSystolic BP > 140 mmHg and/or diastolic BP > 90 mmHg and/or self-reported use of antihypertensive medications; ^bMann-Whitney U test for age, Pearson's chi-square test (χ^2) for categorical variables; ^cMedian with minimum and maximum values; ^dAt least two previous generations on both sides were born in the Arkhangelsk Region; ^eFull-time or part-time employment as a hired worker, individual entrepreneur, or self-employed person.

Таблица 3. Связи распределения генотипов и аллелей SNVs генов-кандидатов, вовлеченных в регуляцию артериального давления, с возрастом, полом, принадлежностью к коренному населению Архангельской области (*n* = 611)**Table 3. Associations between genotype and allele distributions of candidate gene SNVs involved in blood pressure regulation and age, sex, and indigenous origin in the Arkhangelsk Region cohort (*n* = 611)**

Ген / Gene	Генотип, аллель / Genotype, allele	<i>n</i> = 611	Возраст, годы / Age, years		Пол, мужской / Male sex		Коренные жители / Native residents ^a	
			Me (Q1–Q3) ^b	<i>p</i> ^c	<i>n</i> (%)	<i>p</i> ^d	<i>n</i> (%)	<i>p</i> ^d
AGT (rs699)	TT	167	67,0 (63,0–71,0)	0,205	62 (37,1)	0,845	51 (30,7)	0,146
	TC	315	66,0 (62,0–71,0)		113 (35,9)		114 (36,2)	
	CC	129	67,0 (63,0–71,0)		50 (38,8)		35 (27,1)	
	TT+TC vs. CC	482	67,0 (62,0–71,0)	0,394	175 (36,3)	0,608	165 (34,3)	0,123
	CC+TC vs. TT	444	66,0 (62,5–71,0)	0,226	163 (36,7)	0,925	149 (33,6)	0,507
AGTR1(rs5186)	AA	374	67,0 (63,0–71,0)	0,281	130 (34,8)	0,376	130 (34,9)	0,289
	AC	200	66,0 (62,0–71,0)		79 (39,5)		57 (28,5)	
	CC	37	67,0 (64,0–71,0)		16 (43,2)		13 (35,1)	
	AA+AC vs. CC	574	67,0 (63,0–71,0)	0,507	209 (36,4)	0,404	187 (32,6)	0,754
	CC+AC vs. AA	237	66,0 (62,0–71,0)	0,245	95 (40,1)	0,184	70 (29,5)	0,173
ACE (rs4646994)	II	182	66,0 (63,0–70,0)	0,821	66 (36,3)	0,538	65 (35,7)	0,604
	ID	269	67,0 (62,0–71,0)		105 (39,0)		85 (31,6)	
	DD	160	66,5 (62,5–71,0)		54 (33,8)		50 (31,5)	
	II+ID vs. DD	451	67,0 (63,0–71,0)	0,619	171 (37,9)	0,348	150 (33,3)	0,675
	DD+ID vs. II	429	67,0 (62,0–71,0)	0,873	159 (37,1)	0,851	135 (31,5)	0,315
AGT (rs4762)	CC	465	67,0 (63,0–71,0)	0,741	167 (35,9)	0,623	150 (32,3)	0,576
	CT	133	66,0 (62,0–71,0)		52 (39,1)		44 (33,1)	
	TT	13	66,0 (63,0–72,0)		6 (46,2)		6 (46,2)	
	CC+CT vs. TT	598	67,0 (63,0–71,0)	0,989	219 (36,6)	0,481	194 (32,5)	0,299
	TT+CT vs. CC	146	66,0 (62,0–71,0)	0,453	58 (39,7)	0,405	50 (34,3)	0,667
NOS3 (rs2070744)	TT	273	66,0 (62,0–71,0)	0,367	96 (35,2)	0,394	84 (30,8)	0,632
	TC	256	67,0 (63,0–71,0)		102 (39,8)		88 (34,5)	
	CC	82	67,0 (62,0–71,0)		27 (32,9)		28 (34,2)	
	TT+TC vs. CC	529	67,0 (63,0–71,0)	0,764	198 (37,4)	0,432	172 (32,6)	0,778
	CC+TC vs. TT	338	67,0 (63,0–71,0)	0,234	129 (38,2)	0,445	116 (34,4)	0,339
EDN1 (rs5370)	GG	363	66,0 (62,0–71,0)	0,947	138 (38,0)	0,512	123 (33,9)	0,783
	GT	219	67,0 (63,0–71,0)		79 (36,1)		68 (31,2)	
	TT	29	67,0 (62,0–72,0)		8 (27,6)		9 (31,0)	
	GG+GT vs. TT	582	67,0 (63,0–71,0)	0,771	217 (37,3)	0,291	191 (32,9)	0,837
	TT+GT vs. GG	248	67,0 (63,0–71,0)	0,818	87 (35,1)	0,460	77 (31,2)	0,484

Примечание: ^aНе менее двух предшествующих поколений со стороны отца и матери родились в Архангельской области; ^bМедиана с межквартильным интервалом; ^cДля сравнения возраста: тест Краскела – Уоллеса для генотипов, тест Манна – Уитни для аллелей; ^dТест χ^2 Пирсона для сравнения генотипов и аллелей.

Notes: ^aAt least two previous generations on both the sides were born in the Arkhangelsk Region; ^bMedian with interquartile range; ^cFor age comparison: Kruskal-Wallis test for genotypes, Mann-Whitney U test for alleles; ^dPearson's χ^2 test for genotype and allele distributions.

Таблица 4. Связи генотипов и аллелей SNVs генов-кандидатов, вовлеченных в регуляцию артериального давления, с наличием артериальной гипертензии у жителей Архангельской области 60–74 лет**Table 4. Associations between genotypes and alleles of candidate gene SNVs involved in blood pressure regulation and arterial hypertension in 60–74-year-old residents of the Arkhangelsk Region**

Ген / Gene	Генотип, аллель / Genotype/allele	n = 611	Артериальная гипертензия / Arterial hypertension ^a			
			n (%)	p ^b	Логистическая регрессия / Logistic regression	
					ОШ (95% ДИ) / OR (95% CI) ^c	p
AGT (rs699)	ТТ	167	137 (82,0)	0,305	1,0	
	ТС	315	240 (76,2)		0,76 (0,47; 1,25)	0,281
	СС	129	103 (79,8)		0,87 (0,48; 1,59)	0,648
	ТТ+ТС vs. СС	482	377 (78,2)	0,689	0,96 (0,58; 1,58)	0,870
	СС+ТС vs. ТТ	444	343 (77,3)	0,199	0,79 (0,50; 1,26)	0,329
AGTR1 (rs5186)	АА	374	289 (77,3)	0,545	1,0	
	АС	200	160 (80,0)		1,28 (0,83; 1,99)	0,266
	СС	37	31 (83,8)		1,45 (0,57; 3,68)	0,641
	АА+АС vs. СС	574	449 (78,2)	0,424	0,75 (0,30; 1,89)	0,543
	СС+АС vs. АА	237	191 (80,6)	0,330	1,31 (0,86; 1,98)	0,212
ACE (rs4646994)	II	182	141 (77,5)	0,381	1,0	
	ID	269	218 (81,0)		1,23 (0,76; 1,98)	0,397
	DD	160	121 (75,6)		0,92 (0,55; 1,54)	0,749
	II+ID vs. DD	451	359 (79,6)	0,292	1,23 (0,79; 1,91)	0,367
	DD+ID vs. II	429	339 (79,0)	0,670	1,09 (0,71; 1,69)	0,681
AGT (rs4762)	СС	465	373 (80,2)	0,192	1,0	
	СТ	133	98 (73,7)		0,70 (0,44; 1,11)	0,131
	ТТ	13	9 (69,2)		0,52 (0,15; 1,82)	0,308
	СС+СТ vs. ТТ	598	471 (78,8)	0,407	1,76 (0,51; 6,11)	0,375
	ТТ+СТ vs. СС	146	107 (73,3)	0,075	0,68 (0,43; 1,07)	0,092
NOS3 (rs2070744)	ТТ	273	206 (75,5)	0,242	1,0	
	ТС	256	208 (81,3)		1,30 (0,85; 2,01)	0,230
	СС	82	66 (80,5)		1,37 (0,73; 2,59)	0,327
	ТТ+ТС vs. СС	529	414 (78,3)	0,648	0,82 (0,45; 1,50)	0,523
	СС+ТС vs. ТТ	338	274 (81,1)	0,093	1,32 (0,88; 1,97)	0,175
EDN1 (rs5370)	GG	363	288 (79,3)	0,822	1,0	
	GT	219	169 (77,2)		0,87 (0,57; 1,32)	0,514
	ТТ	29	23 (79,3)		1,00 (0,38; 2,64)	0,999
	GG+GT vs. ТТ	582	457 (78,5)	0,920	0,95 (0,36; 2,46)	0,911
	ТТ+GT vs. GG	248	192 (77,4)	0,570	0,88 (0,59; 1,33)	0,550

Примечание: ^aСистолическое артериальное давление > 140 мм рт. ст. и/или диастолическое артериальное давление > 90 мм рт. ст. и/или сообщение о приеме гипотензивных препаратов; ^bТест χ^2 Пирсона для сравнения распределения генотипов и аллелей; ^cОтношение шансов с 95 % доверительными интервалами, оцененное с помощью логистической регрессии с коррекцией на возраст и пол.

Note: ^aSystolic BP > 140 mmHg and/or diastolic BP > 90 mmHg and/or self-reported use of antihypertensive medications; ^bPearson's χ^2 test for comparison of genotype and allele distributions; ^cOdds ratio with 95 % confidence intervals estimated using logistic regression with adjustment for age and sex.

При проведении анализа связей между SNVs и показателями двигательного домена индивидуальной жизнеспособности было выявлено, что среднее значение силы сжатия кисти у носителей аллеля CSNV гена *AGTR1* (rs5186) (генотипы СС+АС) на 1,9 кг выше в сравнении с гомозиготами АА, $p = 0,045$ (табл. 5). Однако данное различие утрачивало статистическую значимость при коррекции на пол и возраст. Значимых ассоциаций между SNVs и наличием преастиении (КБТФФ ≤ 9 баллов) выявлено не было.

По результатам логистического регрессионного анализа показателей сенсорного домена, с учетом коррекции на возраст и пол шансы снижения остроты зрения были ниже при наличии аллеля С SNV гена *AGT* (rs4762) (генотипы СС+СТ) в сравнении с генотипом ТТ (ОШ = 0,24; 95 % ДИ: 0,07–0,87; $p = 0,030$) (табл. 6). У носителей гомозиготного генотипа ТТ

шансы снижения остроты зрения были практически в четыре раза выше в сравнении с генотипом СС (ОШ = 3,94; 95 % ДИ: 1,09–14,28; $p = 0,037$). Наличие аллеля CSNV гена *AGTR1* (rs5186) (генотипы СС+АС) демонстрировало протективный эффект в отношении развития нарушения слуха в пожилом возрасте в сравнении с генотипом АА (ОШ = 0,54; 95 % ДИ: 0,30–0,97; $p = 0,040$). У носителей гетерозиготного генотипа АС SNV гена *AGTR1* (rs5186) шансы нарушения слуха были в два раза ниже по сравнению с гомозиготами АА (ОШ = 0,45; 95 % ДИ: 0,23–0,88; $p = 0,020$). Для остальных исследованных SNVs статистически значимых ассоциаций с показателями сенсорного домена не выявлено.

По результатам квантильной регрессии с коррекцией на возраст и пол не выявлено статистически значимых ассоциаций между отдельными генотипами и аллелями с результатами оценки

Таблица 5. Связи генотипов и аллелей SNVs генов-кандидатов, вовлеченных в регуляцию артериального давления, с показателями двигательного домена индивидуальной жизнеспособности у жителей Архангельской области 60–74 лет

Table 5. Associations between genotypes and alleles of candidate gene SNVs involved in blood pressure regulation with intrinsic capacity locomotion domain scores in 60–74-year-old residents of the Arkhangelsk Region

Ген / Gene	Генотип, аллель / Genotype, allele	n = 608	КБТФФ ≤ 9 баллов / SPPB ≤ 9 points ^a				Сила сжатия кисти, кг / Hand grip strength, kg			
			n (%)	p ^b	Логистическая регрессия / Logistic regression		M ± SD ^d	p ^e	Линейная регрессия / Linear regression	
					ОШ (95% ДИ) / OR (95% CI) ^c	p			B (95% ДИ) / B (95% CI) ^f	p
AGT (rs699)	ТТ	167	19 (11,4)	0,564	1,0		34,1 ± 11,6	0,500	0,0	
	ТС	312	33 (10,6)		0,96 (0,52; 1,76)	0,895	35,3 ± 11,7		1,1 (-0,1; 2,3)	0,065
	СС	129	10 (7,8)		0,66 (0,29; 1,48)	0,310	35,4 ± 10,9		1,0 (-0,5; 2,4)	0,189
	ТТ+ТС vs. СС	479	52 (10,9)	0,301	1,48 (0,73; 3,03)	0,279	34,9 ± 11,6	0,636	-0,2 (-1,5; 1,0)	0,697
	СС+ТС vs. ТТ	441	43 (9,8)	0,554	0,87 (0,49; 1,47)	0,628	35,4 ± 11,4	0,241	1,1 (-0,0; 2,2)	0,067
AGTR1 (rs186)	АА	371	41 (11,1)	0,276	1,0		34,3 ± 11,1	0,123	0,0	
	АС	200	20 (10,0)		0,95 (0,54; 1,69)	0,748	36,0 ± 11,9		0,6 (-0,5; 1,7)	0,271
	СС	37	1 (2,7)		0,23 (0,03; 1,70)	0,123	36,9 ± 12,1		1,2 (-1,0; 3,3)	0,283
	АА+АС vs. СС	571	61 (10,7)	0,120	4,37 (0,58; 32,75)	0,151	34,9 ± 12,4	0,297	-1,0 (-3,1; 1,2)	0,373
	СС+АС vs. АА	237	21 (8,9)	0,384	0,83 (0,47; 1,45)	0,507	36,2 ± 11,9	0,045	0,7 (-0,3; 1,7)	0,185
ACE (rs4646994)	II	181	18 (9,9)	0,707	1,0		35,4 ± 11,2	0,829	0,0	
	ID	267	30 (11,2)		1,15 (0,62; 2,15)	0,657	34,8 ± 11,8		-1,0 (-2,2; 0,2)	0,095
	DD	160	14 (8,8)		0,84 (0,40; 1,77)	0,651	34,9 ± 11,3		-0,0 (-1,4; 1,3)	0,991
	II+ID vs. DD	448	48 (10,7)	0,481	1,29 (0,69; 2,44)	0,425	35,0 ± 11,5	0,932	-0,6 (-1,8; 0,6)	0,305
	DD+ID vs. II	427	44 (10,3)	0,893	1,03 (0,57; 1,85)	0,916	34,8 ± 11,6	0,554	-0,6 (-1,8; 0,5)	0,255
AGT (rs4762)	СС	462	46 (10,0)	0,369	1,0		34,7 ± 11,3	0,553	0,0	
	СТ	133	16 (12,0)		1,31 (0,71; 2,42)	0,390	35,8 ± 11,7		0,3 (-1,0; 1,5)	0,658
	ТТ	13	0 (0,0)		–	–	36,8 ± 14,6		0,1 (-3,4; 3,6)	0,965
	СС+СТ vs. ТТ	595	62 (10,4)	0,219	–	–	35,0 ± 11,4	0,566	0,0 (-3,5; 3,6)	0,993
	ТТ+СТ vs. СС	146	16 (11,0)	0,727	1,18 (0,64; 2,17)	0,603	35,9 ± 11,9	0,296	0,3 (-0,9; 1,5)	0,667
NOS3 (rs2070744)	ТТ	272	27 (9,9)	0,816	1,0		34,6 ± 11,5	0,484	0,0	
	ТС	255	28 (11,0)		1,13 (0,64; 2,00)	0,666	35,7 ± 11,8		0,5 (-0,6; 1,5)	0,417
	СС	81	7 (8,6)		0,83 (0,34; 2,01)	0,683	34,3 ± 10,6		0,2 (-1,4; 1,8)	0,827
	ТТ+ТС vs. СС	527	55 (10,4)	0,619	1,28 (0,55; 2,94)	0,446	35,1 ± 11,6	0,543	0,0 (-1,4; 1,5)	0,956
	СС+ТС vs. ТТ	336	35 (10,4)	0,843	1,06 (0,62; 1,81)	0,840	35,3 ± 11,5	0,449	0,4 (-0,6; 1,4)	0,460
EDN1 (rs5370)	GG	363	37 (10,2)	0,411	1,0		35,2 ± 11,8	0,496	0,0	
	GT	216	20 (9,2)		0,90 (0,50; 1,60)	0,708	35,1 ± 11,0		0,3 (-0,8; 1,4)	0,594
	ТТ	29	5 (17,6)		1,72 (0,61; 4,85)	0,306	32,6 ± 10,7		-0,5 (-2,9; 1,9)	0,689
	GG+GT vs. ТТ	579	57 (9,8)	0,199	0,56 (0,20; 1,55)	0,262	35,1 ± 11,5	0,238	0,6 (-1,8; 3,0)	0,619
	ТТ+GT vs. GG	245	25 (10,2)	0,996	0,99 (0,58; 1,70)	0,971	34,8 ± 11,0	0,669	0,2 (-0,8; 1,2)	0,705

Примечание: ^aКБТФФ – краткая батарея тестов физического функционирования; ^bТест χ^2 Пирсона для сравнения генотипов и аллелей; ^cОтношение шансов с 95 % доверительными интервалами, оцененное с помощью логистической регрессии с коррекцией на возраст и пол; ^dСреднее значение ± стандартное отклонение; ^eДисперсионный анализ (ANOVA) для сравнения генотипов, *t*-тест для независимых выборок для сравнения аллелей; ^fРегрессионный коэффициент B, отражающий различие средних значений, оцененное с помощью линейной регрессии с коррекцией на возраст и пол.

Notes: ^aSPPB, Short Physical Performance Battery; ^bPearson's χ^2 test for genotype and allele distributions; ^cOdds ratio with 95 % confidence intervals estimated using logistic regression adjusted for age and sex; ^dMean ± standard deviation; ^eAnalysis of variance (ANOVA) for genotype comparison, independent samples *t*-test for alleles; ^fRegression coefficient B representing the difference in mean values estimated using linear regression and adjusted for age and sex.

когнитивных функций по шкале MoCA (табл. 7). При этом отдельные SNVs были связаны с выраженностью симптомов депрессии, выраженных в балльных оценках по шкале Бека. Носители генотипа СС NSV гена NOS3 (rs2070744) имели статистически значимо более высокие баллы по шкале депрессии Бека по сравнению с носителями генотипа ТТ (различие медиан: B = 1,5; 95 % ДИ: 0,1–2,9, *p* = 0,030). Наличие аллеля G (генотипы GG+GT) SNV гена EDN1 (rs5370) было ассоциировано со статистически значимым снижением баллов по шкале Бека по сравнению с носителями генотипа ТТ (различие медиан: B = -2,3; 95 % ДИ: -4,5 ... -0,1, *p* = 0,039).

Обсуждение. Был проведен анализ связи SNVs генов, детерминирующих синтез вазоактивных эндотелиальных факторов (вазоконстрикторов: AGT rs699, AGT rs4762, AGTR1 rs5186, ACE rs4646994, EDN1 rs5370 и вазодилаторов - NOS3 rs2070744), и наличием артериальной гипертензии, а также параметрами двигательного, сенсорного, когнитивно-психологического доменов ИЖ пожилых жителей, проживающих в Архангельской области. Анализ не выявил статистически значимых ассоциаций между аллелями/генотипами изучаемых вариантов генов, являющихся генами-кандидатами сердечно-сосудистой патологии, и наличием артериальной гипертензии в анализируемой выборке. Отсутствие ассоциаций

Таблица 6. Связи генотипов и аллелей SNVs генов-кандидатов, вовлеченных в регуляцию артериального давления, с показателями сенсорного домена индивидуальной жизнеспособности у жителей Архангельской области 60–74 лет**Table 6. Associations between genotypes and alleles of candidate gene SNVs involved in blood pressure regulation and intrinsic capacity sensory domain indicators in 60–74-year-old residents of the Arkhangelsk Region**

Ген / Gene	Генотип, аллель / Genotype, allele	n = 610	Нарушение зрения / Visual impairment ^a				n = 611	Нарушение слуха / Hearing impairment ^b			
			n (%)	p ^c	Логистическая регрессия / Logistic regression			n (%)	p ^c	Логистическая регрессия / Logistic regression	
					ОШ (95% ДИ) / OR (95% CI) ^d	p				ОШ (95% ДИ) / OR (95% CI) ^d	p
AGT (rs699)	ТТ	167	15 (9,0)	0,211	1,0		167	16 (9,6)	0,850	1,0	
	ТС	314	35 (11,2)		1,38 (0,72; 2,65)	0,332	315	33 (10,5)		1,20 (0,63; 2,27)	0,581
	СС	129	20 (15,5)		1,92 (0,93; 4,00)	0,079	129	15 (11,6)		1,24 (0,58; 2,64)	0,584
	ТТ+ТС vs. СС	481	50 (10,4)	0,106	0,64 (0,36; 1,15)	0,135	482	49 (10,2)	0,630	0,91 (0,49; 1,70)	0,768
	СС+ТС vs. ТТ	443	55 (12,4)	0,236	1,54 (0,83; 2,84)	0,169	444	48 (10,8)	0,658	1,21 (0,66; 2,22)	0,539
AGTR1 (rs186)	АА	374	44 (11,8)	0,487	1,0		374	47 (12,6)	0,041	1,0	
	АС	199	24 (12,1)		1,12 (0,65; 1,94)	0,678	200	12 (6,0)		0,45 (0,23; 0,88)	0,020
	СС	37	2 (5,4)		0,41 (0,09; 1,80)	0,238	37	5 (13,5)		1,01 (0,37; 2,77)	0,989
	АА+АС vs. СС	573	68 (11,9)	0,232	2,53 (0,58; 10,96)	0,214	574	59 (10,3)	0,533	0,80 (0,29; 2,16)	0,654
	СС+АС vs. АА	236	26(11,0)	0,778	0,99 (0,58; 1,68)	0,974	237	17 (7,2)	0,034	0,54 (0,30; 0,97)	0,040
ACE (rs4646994)	II	181	16 (8,8)	0,389	1,0		182	22 (12,1)	0,342	1,0	
	ID	269	35 (13,0)		1,53 (0,81; 2,89)	0,195	269	30 (11,2)		0,86 (0,47; 1,57)	0,627
	DD	160	19 (11,9)		1,39 (0,68; 2,84)	0,374	160	12(7,5)		0,59 (0,28; 1,25)	0,171
	II+ID vs. DD	450	51 (11,3)	0,854	0,94 (0,53; 1,68)	0,846	451	52 (11,5)	0,153	1,55 (0,79; 3,01)	0,199
	DD+ID vs. II	429	54 (12,6)	0,185	1,47 (0,81; 2,68)	0,206	429	42(9,8)	0,396	0,76 (0,44; 1,33)	0,340
AGT (rs4762)	СС	464	54 (11,6)	0,062	1,0		465	47 (10,1)	0,772	1,0	
	СТ	133	12 (9,0)		0,80 (0,41; 1,56)	0,510	133	16 (12,0)		1,26 (0,68; 2,34)	0,510
	ТТ	13	4 (30,8)		3,94 (1,09; 14,28)	0,037	13	1 (7,7)		0,72 (0,09; 5,81)	0,759
	СС+СТ vs. ТТ	597	66 (11,1)	0,027	0,24 (0,07; 0,87)	0,030	598	63 (10,5)	0,741	1,47 (0,18; 11,72)	0,719
	ТТ+СТ vs. СС	146	16 (11,0)	0,822	1,0 (0,54; 1,83)	0,990	146	17 (11,6)	0,597	1,21 (0,66; 2,21)	0,533
NOS3 (rs2070744)	ТТ	272	32 (11,8)	0,663	1,0		273	28 (10,3)	0,982	1,0	
	ТС	256	31 (12,1)		1,01 (0,59; 1,74)	0,965	256	27 (10,6)		0,95 (0,54; 1,68)	0,861
	СС	82	7 (8,5)		0,65 (0,27; 1,57)	0,342	82	9 (11,0)		1,07 (0,48; 2,41)	0,865
	ТТ+ТС vs. СС	528	63 (11,9)	0,369	1,54 (0,67; 3,57)	0,312	529	55 (10,4)	0,874	0,91 (0,42; 1,95)	0,807
	СС+ТС vs. ТТ	338	38 (11,2)	0,841	0,92 (0,55; 1,54)	0,750	338	36 (10,6)	0,874	0,98 (0,57; 1,67)	0,937
EDN1 (rs5370)	GG	362	41 (11,3)	0,602	1,0		363	37 (10,2)	0,729	1,0	
	GT	219	24 (11,0)		0,96 (0,56; 1,66)	0,883	219	25 (11,4)		1,14 (0,66; 1,97)	0,647
	ТТ	29	5 (17,2)		1,55 (0,54; 4,43)	0,411	29	2 (6,9)		0,63 (0,14; 2,82)	0,547
	GG+GT vs. ТТ	581	65 (11,2)	0,318	0,63 (0,23; 1,78)	0,386	582	62 (10,7)	0,519	1,67 (0,38; 7,34)	0,500
	ТТ+GT vs. GG	245	29 (11,7)	0,889	1,03 (0,61; 1,72)	0,920	248	27 (10,9)	0,783	1,07 (0,63; 1,83)	0,794

Примечание: ^aОстрота зрения вдаль лучше видящего глаза с максимальной коррекцией ≤ 0,7 усл. ед.; ^bРасстояние восприятия шепотной речи лучше слышащим ухом ≤ 2 метров; ^cТест χ^2 Пирсона для сравнения генотипов и аллелей; ^dОтношение шансов с 95 % доверительными интервалами, оцененное с помощью логистической регрессии с коррекцией на возраст и пол.

Notes: ^aVisual acuity of the better-seeing eye with best correction ≤ 0,7 c.u.; ^bWhispered speech perception distance with the better-hearing ear ≤ 2 meters; ^cPearson's χ^2 test for genotype and allele distributions; ^dOdds ratio with 95 % confidence intervals estimated using logistic regression and adjusted for age and sex.

объясняется тем, что механизмы повышения давления у лиц старшего возраста связаны не только с дисбалансом вазоактивных факторов в сторону констрикторных, но представляют собой сложнейший комплекс нейрогуморальных, гемодинамических и метаболических факторов. Изучение механизмов повышения давления выявило ряд отличительных особенностей формирования артериальной гипертензии у пожилых людей. Так, установлено, что у лиц пожилого возраста имеет место повышение вязкости крови, что способствует увеличению нагрузки на сердце и повышению артериального давления [19], формируется фиброз миокарда из-за дисбаланса в системе коллагенового метаболизма, снижения реактивности РАС [20]. Показано, что с возрастом в артериальной системе нарастают диффузные

склеротические процессы, снижается растяжимость аорты и сонных артерий в области барорецепторных зон, что повышает порог их раздражения, и для их включения в систему регуляции артериального давления необходим более высокий его уровень. Также авторы считают увеличение дисфункции автономной нервной системы одним из основных факторов, способствующих повышению артериального давления [21]. Вероятно, роль неблагоприятных вариантов генов, детерминирующих синтез эндотелиальных вазоактивных факторов, в большей степени проявляется в более раннем возрасте.

Результаты настоящего исследования показали, что аллель T SNV rs4762 гена ангиотензиногена AGT является фактором риска снижения остроты зрения у пожилых людей. Носительство аллеля

Таблица 7. Связи генотипов и аллелей SNVs генов-кандидатов, вовлеченных в регуляцию артериального давления, с показателями когнитивно-психологического домена индивидуальной жизнеспособности у жителей Архангельской области 60–74 лет

Table 7. Associations between genotypes and alleles of candidate gene SNVs involved in blood pressure regulation with intrinsic capacity cognitive and psychological domain indicators in 60–74-year-old residents of the Arkhangelsk Region

Ген / Gene	Генотип, аллель / Genotype, allele	n = 529	Шкала MoCa, баллы / MoCA scale, scores ^a				n = 531	Шкала депрессии Бека, баллы / Beck Depression Inventory, scores			
			Me (Q1-Q3) ^b	p ^c	Квантильная регрессия / Quantile regression			Me (Q1-Q3) ^b	p ^c	Квантильная регрессия / Quantile regression	
					В (95% ДИ) / В (95% CI) ^d	p				В (95% ДИ) / В (95% CI) ^d	p
AGT ± (rs699)	TT	145	27,0 (26,0–29,0)	0,556	0,0		144	5,0 (2,0–8,0)	0,594	0,0	
	TC	277	28,0 (26,0–29,0)		0,0 (–0,6; 0,6)	1,000	280	5,0 (2,0–8,0)		0,3 (–0,8; 1,5)	0,580
	CC	107	27,0 (26,0–29,0)		0,1 (–0,6; 0,8)	0,720	107	5,0 (2,0–8,0)		0,5 (–1,0; 2,0)	0,504
	TT+TC vs. CC	422	28,0 (26,0–29,0)	0,899	–0,1 (–0,7; 0,5)	0,675	424	5,0 (2,0–9,0)	0,421	–0,4 (–1,7; 0,8)	0,504
	CC+TC vs. TT	384	28,0 (26,0–29,0)	0,288	0,0 (–0,5; 0,5)	1,000	387	5,0 (2,0–9,0)	0,398	0,5 (–1,6; 1,6)	0,364
AGTR1 (rs5186)	AA	322	28,0 (26,0–29,0)	0,850	0,0		324	5,0 (2,0–9,0)	0,602	0,0	
	AC	174	28,0 (26,0–29,0)		0,0 (0,3; 0,5)	1,000	174	4,0 (2,0–8,0)		–0,3 (–1,4; 0,6)	0,460
	CC	33	27,0 (26,0–29,0)		–0,1 (–1,1; 0,8)	0,798	33	5,0 (1,0–8,0)		–0,3 (–2,3; 1,7)	0,761
	AA+AC vs. CC	496	28,0 (26,0–29,0)	0,582	0,1 (–0,8; 1,1)	0,795	498	5,0 (2,0–9,0)	0,797	0,0 (–2,0; 2,0)	1,000
	CC+AC vs. AA	207	27,0 (26,0–29,0)	0,968	0,0 (–0,5; 0,5)	1,000	207	4,0 (2,0–8,0)	0,315	–0,4 (–1,4; 0,6)	0,504
ACE (rs4646994)	II	150	27,5 (26,0–29,0)	0,665	0,0		150	4,5 (1,0–8,0)	0,343	0,0	
	ID	241	28,0 (26,0–29,0)		0,2 (–0,3; 0,8)	0,388	243	5,0 (3,0–9,0)		0,6 (–0,5; 1,8)	0,298
	DD	138	28,0 (26,0–29,0)		0,1 (–0,5; 0,8)	0,703	138	5,0 (2,0–9,0)		0,5 (–0,8; 1,9)	0,422
	II+ID vs. DD	391	28,0 (26,0–29,0)	0,377	0,0 (–0,5; 0,5)	1,000	391	5,0 (2,0–8,0)	0,682	0,0 (–1,1; 1,1)	1,000
	DD+ID vs. II	379	28,0 (26,0–29,0)	0,617	0,1 (–0,5; 0,6)	0,639	381	5,0 (2,0–9,0)	0,146	0,5 (–0,6; 1,6)	0,360
AGT (rs4762)	CC	410	28,0 (26,0–29,0)	0,785	0,0		412	5,0 (2,0–8,0)	0,390	0,0	
	CT	108	27,0 (26,0–29,0)		0,0 (–0,6; 0,6)	1,000	108	5,0 (2,0–9,0)		0,0 (–1,1; 1,1)	1,000
	TT	11	28,0 (27,0–29,0)		0,8 (–0,8; 2,3)	0,348	11	6,0 (4,0–12,0)		2,8 (–0,3; 6,0)	0,077
	CC+CT vs. TT	518	28,0 (26,0–29,0)	0,776	–0,8 (–2,3; 0,8)	0,354	520	5,0 (2,0–8,0)	0,199	–2,8 (–6,2; 0,6)	0,103
	TT+CT vs. CC	119	27,0 (26,0–29,0)	0,491	0,0 (–0,6; 0,6)	1,000	119	5,0 (2,0–9,0)	0,414	0,2 (–0,9; 1,2)	0,762
NOS3 (rs2070744)	TT	240	29,0 (26,0–29,0)	0,317	0,0		241	5,0 (2,0–8,0)	0,331	0,0	
	TC	212	27,5 (26,0–29,0)		0,0 (–0,5; 0,5)	1,000	214	5,0 (2,0–9,0)		0,3 (–0,6; 1,3)	0,499
	CC	77	27,0 (26,0–29,0)		–0,6 (–1,3; 0,1)	0,101	76	6,0 (2,5–9,0)		1,5 (0,1; 2,9)	0,030
	TT+TC vs. CC	452	28,0 (26,0–29,0)	0,203	0,6 (–0,1; 1,2)	0,082	455	5,0 (2,0–8,0)	0,227	–1,3 (–2,7; 0,0)	0,052
	CC+TC vs. TT	289	27,0 (26,0–29,0)	0,215	–0,1 (–0,6; 0,3)	0,601	290	5,0 (2,0–9,0)	0,209	0,5 (–0,4; 1,4)	0,295
EDN1 (rs5370)	GG	314	28,0 (26,0–29,0)	0,631	0,0		315	5,0 (2,0–9,0)	0,128	0,0	
	GT	187	28,0 (26,0–29,0)		0,1 (–0,5; 0,6)	0,607	188	4,0 (2,0–8,0)		–0,4 (–1,4; 0,7)	0,475
	TT	28	27,0 (26,0–29,0)		–0,5 (–1,5; 0,5)	0,336	28	7,0 (3,5–11,5)		2,2 (–0,1; 4,4)	0,062
	GG+GT vs. TT	501	28,0 (26,0–29,0)	0,357	0,6 (–0,4; 1,6)	0,222	503	5,0 (2,0–8,0)	0,053	–2,3 (–4,5; 0,1)	0,039
	TT+GT vs. GG	215	27,0 (26,0–29,0)	0,993	0,0 (–0,5; 0,5)	1,000	216	5,0 (2,0–8,5)	0,985	–0,2 (–1,1; 0,8)	0,504

Примечание: ^aMoCA – Монреальская шкала когнитивной оценки; ^bМедиана с межквартильным интервалом; ^cТест Краскела – Уоллиса для сравнения генотипов, тест Манна – Уитни для сравнения аллелей; ^dРегрессионный коэффициент B с 95 % доверительными интервалами – различие медиан, оцененное с помощью квантильной регрессии с коррекцией на возраст и пол.

Notes: ^aMoCA, Montreal Cognitive Assessment; ^bMedian with interquartile range; ^cKruskal-Wallis test for genotypes, Mann-Whitney U test for alleles; ^dRegression coefficient B with 95 % CI representing the difference in medians, estimated using quantile regression and adjusted for age and sex.

T SNV rs4762 гена AGT обуславливает вазоконстрикцию [22], у носителей этого аллеля риск снижения остроты зрения может быть опосредован развитием артериальной гипертензии. Экспериментальные исследования на животных с гипертензией, вызванной нарушением функциональной активности PAC, демонстрировали дегенерацию ганглионарных клеток, которую авторы трактуют как сосудистую дегенерацию [23]. Снижения остроты зрения в пожилом возрасте возможны также вследствие развития глаукомы [15].

У пожилых жителей Архангельской области были получены несколько неожиданные результаты, а именно протективное действие аллеля C SNV rs5186 гена рецептора 1 типа ангиотензина II AGTR1 в отношении развития нарушения слуха. В то же время в литературе описана ассоциация носительства этого аллеля с повышенным риском отосклероза [12]. Данные о наличии локальной PAC в органе слуха остаются противоречивыми. Так, в культуре клеток стромальной кости пациентов с отосклерозом были выявлены рецепторы 1 и 2

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-36-49>

Оригинальная исследовательская статья

типов ангиотензина II [12], тогда как другие исследователи не обнаружили экспрессии генов PAC в стременной кости, пораженной отосклерозом [24].

По результатам нашего исследования, гетерозиготный генотип AC SNV rs5186 гена *AGTR1* ассоциирован с протективным эффектом в отношении снижения слуха в сравнении с гомозиготами AA. Есть мнение, что из популяции с возрастом вытесняются гомозиготы по диному и мутантному аллелю, а наиболее устойчивыми остаются гетерозиготы [25]. Авторы связывают гомозиготный вариант компонентов PAC с долгожительством.

Также неожиданным был факт, что аллель C SNV rs5186 гена *AGTR1* у пожилых жителей Архангельской области связан с более высокой силой сжатия кисти. Экспериментальные исследования показали наличие рецепторов 1-го типа ангиотензина II на скелетных мышцах, преимущественно в быстрых волокнах II типа [26]. Блокада этих рецепторов снижает активность PAC, защищает мышцы от окислительного стресса и протеолиза, предотвращает атрофию и повышает мышечную силу, поэтому такие препараты применяются при тренировках [27]. Однако у пожилых мужчин (> 65 лет), занимавшихся силовыми тренировками, их применение не предотвратило атрофию мышц [28]. Возможно, протективное действие аллеля C SNV rs 5186 гена *AGTR1* на силу сжатия кисти у пожилых жителей Архангельской области обусловлено снижением чувствительности PAC мышечной системы, характерным для пожилых людей.

Выявленный протективный эффект аллеля G варианта rs 5370 гена *EDN1* в отношении депрессии у пожилых жителей Архангельской области вероятно связан с оптимальным уровнем эндотелина-1 в крови и мозге у носителей этого аллеля. Ранее было показано, что минорные аллели (T) SNV rs5370 гена *EDN1* связаны с увеличением уровня эндотелина-1 [29]. В экспериментальном исследовании было показано участие эндотелина-1 в развитии депрессии: эндотелины могут модулировать выработку и высвобождение цитокинов иммунными клетками, а цитокины участвуют в развитии депрессивных расстройств [30]. Авторы другого экспериментального исследования с использованием в качестве модели мышей с высокой и низкой тревожностью выявили, что эндотелин-1 и его рецепторы в миндалевидном теле участвуют в патогенезе тревожных расстройств [31].

Результаты проведенного исследования также показали связь гомозиготного носительства мутантного аллеля C SNV rs2070744 гена *NOS3* с риском развития депрессии у жителей Архангельской области. В литературе нет единого мнения о связи варианта rs2070744 гена *NOS3* с эмоциональными и психическими расстройствами. По данным одних авторов, нет ассоциации данного варианта с депрессией [22]. Другие авторы показали его связь с геморрагическими заболеваниями сосудов мозга и биполярным расстройством [33]. У носителей генотипа CC SNV rs2070744 гена *NOS3* с биполярным расстройством отмечено снижение уровня оксида азота, что указывает на вовлечение нитринергичес-

кого пути в развитии данной патологии [34]. Также описаны связи данного генотипа с вазовагальными обмороками и более высокой частотой тревожных и депрессивных расстройств [35]. Эти данные могут быть подтверждением выявленного риска развития депрессии у носителей генотипа CC SNV rs2070744 гена *NOS3*. Известно, что SNV rs2070744 гена *NOS3* существенно влияет на экспрессию гена, что приводит к снижению концентрации оксида азота в крови и тканях [36]. В клинической практике при применении ингаляционного оксида азота у пожилых пациентов с умеренными когнитивными нарушениями наблюдалось улучшение эмоционального состояния, уменьшались проявления депрессии [37]. В ряде исследований было выявлено, что ген *NOS3* является мишенью для антидепрессантов [38]. Собственные и литературные данные свидетельствуют о том, что необходима профилактика возможных депрессивных расстройств у людей с генотипом CC SNV гена *NOS3*.

Отсутствие значимых связей вариантов изучаемых генов и когнитивного снижения по данным MoCA теста можно объяснить относительно сохраненными когнитивными функциями у участников исследования и небольшой долей лиц в выборке с низкими показателями (менее 26 баллов). Вероятно, ассоциации вариантов изучаемых генов наиболее вероятно проявляются клиническими признаками когнитивного снижения на фоне сосудистой деменции в сочетании с нейродегенерацией, например, у пациентов с болезнью Альцгеймера [18].

Связи вариантов рассмотренных генов с параметрами функций мышечной, сенсорных систем и эмоционального состояния свидетельствуют об их значимой регуляторной роли на уровне микроциркуляторных процессов в тканях, что может проявиться на этапе сосудистых и дистрофических осложнений артериальной гипертензии. Полученные результаты свидетельствуют, что носительство тех или иных вариантов рассмотренных генов может способствовать как ускорению нарушений сосудистой регуляции на микроциркуляторном уровне, в первую очередь в области зрительного и слухового анализаторов, мышечной ткани и эмоциогенных структур головного мозга, так и сдерживанию данных процессов, обеспечивая оптимальную жизнеспособность пожилых жителей европейского Севера России.

Ограничением исследования является небольшая численность участников с когнитивными и двигательными нарушениями, что проявлялось в ограниченной статистической мощности для выявления связей рассматриваемых генов с когнитивными и двигательными способностями пожилых людей.

Заключение. У пожилых жителей Архангельской области выявлены биомаркеры снижения функциональных показателей, определяющих индивидуальную жизнеспособность: аллель T SNV гена ангиотензиногена *AGT* (rs4762) (снижение остроты зрения), аллель C варианта rs2070744 гена *NOS3* (выраженные симптомы депрессии). Также определены генетические маркеры сохранения относительно высоких функциональных показателей:

аллель С варианта rs5186 гена рецептора 1-го типа ангиотензина II *AGTR1*, включая гетерозиготное носительство АС данного варианта гена (большая острота слуха), аллель С варианта rs5186 гена рецептора 1-го типа ангиотензина II *AGTR1* (большая сила сжатия кисти), аллель G варианта гена *EDN1* (rs 5370) (низкие баллы на шкале депрессии).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Frolova E, Arosio B, Lim WS. Editorial: Intrinsic capacity and resilience vs. frailty: On the way to healthy aging. *Front Med (Lausanne)*. 2023;21;10:1155648. doi: 10.3389/fmed.2023.1155648
2. Meng LC, Huang ST, Peng LN, Chen LK, Hsiao FY. Biological features of the outcome-based intrinsic capacity composite scores from a population-based cohort study: Pas de Deux of biological and functional aging. *Front Med (Lausanne)*. 2022;9:851882. doi: 10.3389/fmed.2022.851882
3. Проворова А.А., Смиреникова Е.В., Уханова А.В. Здоровье населения российской Арктики: проблемы, вызовы и пути их решения // Арктика и Север. 2024. № 55. С. 161–181. doi: 10.37482/issn2221-2698.2024.55.161
4. Максимов А.Л. Современные проблемы адаптационных процессов и экологии человека в приполярных и арктических регионах России: концептуальные подходы к решению // Ульяновский медико-биологический журнал. 2015. № 1. С. 131–143.
5. Бебякова Н.А., Левицкий С.Н., Шабалина И.А., Командресова Т.М., Кудрявцев А.В. Полиморфизм генов ренин-ангиотензиновой системы и старение // Экология человека. 2023. Т. 30. № 8. С. 571–587. doi: 10.17816/humeco516580
6. Павлова О.С., Коробко И.Ю., Ливенцева М.М. и др. Патогенез клеточного старения: полиморфизм генов и активность ренин-ангиотензин-альдостероновой системы // Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски. 2020. Т. 4. № 1. С. 898–903
7. Pavlyushchik OO, Afonin VYu, Sarokina VN, Chak TA, Khapaliuk AV, Anisovich MV. Association of the ace I/D gene polymorphism with DNA damage in hypertensive men. *Tsitol Genet*. 2016;50(5):48–58.
8. Глотов О.С., Баранов В.С. Генетические полиморфизмы и старение // Успехи геронтологии. 2007. Т. 20. № 2. С. 35–55.
9. Liu ME, Tsai SJ, Lu T, et al. No association of angiotensin I converting enzyme I/D polymorphism with domain-specific cognitive function in aged men without dementia. *Neuromolecular Med*. 2011;13(3):212–216. doi: 10.1007/s12017-011-8153-y
10. Zhang Z, Deng L, Bai F, et al. ACE I/D polymorphism affects cognitive function and gray-matter volume in amnesic mild cognitive impairment. *Behav Brain Res*. 2011;218(1):114–120. doi: 10.1016/j.bbr.2010.11.032
11. Zannas AS, McQuoid DR, Payne ME, et al. Association of gene variants of the renin-angiotensin system with accelerated hippocampal volume loss and cognitive decline in old age. *Am J Psychiatry*. 2014;171(11):1214–1221. doi: 10.1176/appi.ajp.2014.13111543
12. Imauchi Y, Jeunemaitre X, Boussion M, Ferrary E, Sterkers O, Grayeli AB. Relation between renin-angiotensin-aldosterone system and otosclerosis: A genetic association and in vitro study. *Otol Neurotol*. 2008;29(3):295–301. doi: 10.1097/mao.0b013e318164d12c
13. Saab YB, Gard PR, Yeoman MS, Mfarrej B, El-Moalem H, Ingram MJ. Renin-angiotensin-system gene polymorphisms and depression. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 2007;31(5):1113–1118. doi: 10.1016/j.pnpbp.2007.04.002
14. Uchida Y, Sugiura S, Nakashima T, Ando F, Shimokata H. Endothelin-1 gene polymorphism and hearing impairment in elderly Japanese. *Laryngoscope*. 2009;119(5):938–943. doi: 10.1002/lary.20181
15. Choudhary R, Kapoor MS, Singh A, Bodakhe SH. Therapeutic targets of renin-angiotensin system in ocular disorders. *J Curr Ophthalmol*. 2016;29(1):7–16. doi: 10.1016/j.joco.2016.09.009
16. Salari N, Bokaei S, Farshchian N, Mohammadi M, Kazemini M. The role of polymorphisms rs2070744 and rs1799983 eNOS gene in patients with POAG: A systematic review and meta-analysis. *Int Ophthalmol*. 2021;41(8):2747–2763. doi: 10.1007/s10792-021-01832-y
17. Cook S, Malyutina S, Kudryavtsev AV, et al. Know Your Heart: Rationale, design and conduct of a cross-sectional study of cardiovascular structure, function and risk factors in 4500 men and women aged 35–69 years from two Russian cities, 2015–18. *Wellcome Open Res*. 2018;3:67. doi: 10.12688/wellcomeopenres.14619.3
18. Roberts HC, Denison HJ, Martin HJ, et al. A review of the measurement of grip strength in clinical and epidemiological studies: Towards a standardised approach. *Age Ageing*. 2011;40(4):423–429. doi: 10.1093/ageing/afr051
19. Löwik MR, Odink J, Kok FJ, Ockhuizen T. Hematocrit and cardiovascular risk factors among elderly men and women (Dutch Nutrition Surveillance System). *Gerontology*. 1992;38(4):205–213. doi: 10.1159/000213329
20. Faulhaber HD, Gruner R, Homuth V, et al. Nitrendipine treatment in so-called therapy-resistant arterial hypertension; effect as monotherapy and in combination with propranolol on blood pressure, heart rate, other hemodynamic parameters, plasma renin activity, and catecholamines. *J Cardiovasc Pharmacol*. 1988;12(Suppl 4):S146–S148. doi: 10.1097/00005344-198806124-00033
21. Laurent S, Cockcroft J, Van Bortel L, et al.; European Network for Non-Invasive Investigation of Large Arteries. Expert consensus document on arterial stiffness: Methodological issues and clinical applications. *Eur Heart J*. 2006;27(21):2588–2605. doi: 10.1093/eurheartj/ehl254
22. El-Garawani IM, Shaheen EM, El-Seedi HR, et al. Angiotensinogen gene missense polymorphisms (rs699 and rs4762): The association of end-stage renal failure risk with type 2 diabetes and hypertension in Egyptians. *Genes (Basel)*. 2021;12(3):339. doi: 10.3390/genes12030339
23. Sethupathy P, Borel C, Gagnebin M, et al. Human microRNA-155 on chromosome 21 differentially interacts with its polymorphic target in the AGTR1 3' untranslated region: A mechanism for functional single-nucleotide polymorphisms related to phenotypes. *Am J Hum Genet*. 2007;81(2):405–413. doi: 10.1086/519979
24. Liktó B, Csomó P, Szász CS, Sziklai I, Karosi T. No evidence for the expression of renin-angiotensin-aldosterone system in otosclerotic stapes footplates. *Otol Neurotol*. 2013;34(5):808–815. doi: 10.1097/MAO.0b013e31827d8a80
25. Глотов А.С., Глотов О.С., Москаленко М.В. и др. Анализ полиморфизма генов ренин-ангиотензиновой системы в популяции Северо-Западного региона России, у атлетов и у долгожителей // Экологическая генетика. 2004. Т. 2. № 4. С. 40–43. doi: 10.17816/ecogen2440-43
26. Deminice R, Hyatt H, Yoshihara T, et al. Human and rodent skeletal muscles express angiotensin II type 1 receptors. *Cells*. 2020;9(7):1688. doi: 10.3390/cells9071688
27. Afsar B, Afsar RE, Caliskan Y, Lentine KL, Edwards JC. Renin angiotensin system-induced muscle wasting: Putative mechanisms and implications for clinicians. *Mol Cell Biochem*. 2025;480(4):1935–1949. doi: 10.1007/s11010-024-05043-8

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-36-49>

Оригинальная исследовательская статья

28. Heisterberg MF, Andersen JL, Schjerling P, *et al.* Losartan has no additive effect on the response to heavy-resistance exercise in human elderly skeletal muscle. *J Appl Physiol* (1985). 2018;125(5):1536-1554. doi: 10.1152/jappphysiol.00106.2018
29. Сустретов А.С., Миронова Г.П., Давыдкин И.Л., Наумова К.В., Степанова Г.Ю. Ассоциация однонуклеотидного полиморфизма lys198asn гена эндотелина-1 с его концентрацией в сыворотке больных множественной миеломой // Медицинская генетика. 2023. Т. 22. № 3. С. 54-58. doi: 10.25557/2073-7998.2023.03.54-58
30. Pinho-Ribeiro FA, Borghi SM, Staurengo-Ferrari L, Filgueiras GB, Estanislau C, Verri WA Jr. Bosentan, a mixed endothelin receptor antagonist, induces antidepressant-like activity in mice. *Neurosci Lett*. 2014;560:57-61. doi: 10.1016/j.neulet.2013.12.018
31. Chen M, Yan HH, Shu S, *et al.* Amygdalar endothelin-1 regulates pyramidal neuron excitability and affects anxiety. *Sci Rep*. 2017;7(1):2316. doi: 10.1038/s41598-017-02583-6
32. Ikenouchi-Sugita A, Yoshimura R, Kishi T, *et al.* Three polymorphisms of the eNOS gene and plasma levels of metabolites of nitric oxide in depressed Japanese patients: A preliminary report. *Hum Psychopharmacol*. 2011;26(7):531-534. doi: 10.1002/hup.1239
33. Wang Q, Sun H, Qi X, Zhou M. eNOS rs2070744 polymorphism might influence predisposition to hemorrhagic cerebral vascular diseases in East Asians: A meta-analysis. *Brain Behav*. 2020;10(5):e01538. doi: 10.1002/brb3.1538
34. Kittel-Schneider S, Reuß M, Meyer A, *et al.* Multi-level biomarker analysis of nitric oxide synthase isoforms in bipolar disorder and adult ADHD. *J Psychopharmacol*. 2015;29(1):31-38. doi: 10.1177/0269881114555251
35. Titov B, Matveeva N, Kulakova O, *et al.* Vasovagal syncope is associated with variants in genes involved in neurohumoral signaling pathways. *Genes (Basel)*. 2022;13(9):1653. doi: 10.3390/genes13091653
36. Doshi AA, Ziolo MT, Wang H, Burke E, Lesinski A, Binkley P. A promoter polymorphism of the endothelial nitric oxide synthase gene is associated with reduced mRNA and protein expression in failing human myocardium. *J Card Fail*. 2010;16(4):314-319. doi: 10.1016/j.cardfail.2009.12.013
37. Старчина Ю.А., Гришина Д.А., Соколов Е.А., Парфенов В.А. Применение ингаляционного оксида азота (аппарат «Тианокс») у пациентов с умеренными когнитивными нарушениями // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2023. Т. 15. № 6. С. 64-70. doi: 10.14412/2074-2711-2023-6-64-70
38. Wang H, Liu J, He J, *et al.* Potential mechanisms underlying the therapeutic roles of sinisan formula in depression: Based on network pharmacology and molecular docking study. *Front Psychiatry*. 2022;13:1063489. doi: 10.3389/fpsy.2022.1063489
4. Maksimov AL. Modern problems of adaptation processes and human ecology in the polar and arctic regions of Russia: Conceptual approaches to solve them. *Ulyanovskiy Mediko-Biologicheskii Zhurnal*. 2015;(1):131-143. (In Russ.)
5. Bebyakova NA, Levitsky SN, Shabalina IA, Komandresova TM, Kudryavtsev AV. Renin-angiotensin system gene polymorphism and aging. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*. 2023;(8):571-587. (In Russ.) doi: 10.17816/humeco516580
6. Pavlova OS, Korobko IYu, Liventseva MM, *et al.* The pathogenesis of cell aging: Gene polymorphism and renin-angiotensin-aldosterone system activity. *Neotlozhnaya Kardiologiya i Kardiologicheskii Riski*. 2020;4(1):898-903. (In Russ.)
7. Pavlyushchik OO, Afonin VYu, Sarokina VN, Chak TA, Khapaliuk AV, Anisovich MV. Association of the ace I/D gene polymorphism with DNA damage in hypertensive men. *Tsitol Genet*. 2016;50(5):48-58.
8. Glotov OS, Baranov VS. Genetic polymorphisms and aging. *Uspekhi Gerontologii*. 2007;20(2):35-55. (In Russ.)
9. Liu ME, Tsai SJ, Lu T, *et al.* No association of angiotensin I converting enzyme I/D polymorphism with domain-specific cognitive function in aged men without dementia. *Neuromolecular Med*. 2011;13(3):212-216. doi: 10.1007/s12017-011-8153-y
10. Zhang Z, Deng L, Bai F, *et al.* ACE I/D polymorphism affects cognitive function and gray-matter volume in amnesic mild cognitive impairment. *Behav Brain Res*. 2011;218(1):114-120. doi: 10.1016/j.bbr.2010.11.032
11. Zannas AS, McQuoid DR, Payne ME, *et al.* Association of gene variants of the renin-angiotensin system with accelerated hippocampal volume loss and cognitive decline in old age. *Am J Psychiatry*. 2014;171(11):1214-1221. doi: 10.1176/appi.ajp.2014.13111543
12. Imauchi Y, Jeunemaitre X, Boussion M, Ferrary E, Sterkers O, Grayeli AB. Relation between renin-angiotensin-aldosterone system and otosclerosis: A genetic association and in vitro study. *Otol Neurotol*. 2008;29(3):295-301. doi: 10.1097/mao.0b013e318164d12c
13. Saab YB, Gard PR, Yeoman MS, Mfarrej B, El-Moalem H, Ingram MJ. Renin-angiotensin-system gene polymorphisms and depression. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 2007;31(5):1113-1118. doi: 10.1016/j.pnpbp.2007.04.002
14. Uchida Y, Sugiura S, Nakashima T, Ando F, Shimokata H. Endothelin-1 gene polymorphism and hearing impairment in elderly Japanese. *Laryngoscope*. 2009;119(5):938-943. doi: 10.1002/lary.20181
15. Choudhary R, Kapoor MS, Bodakhe SH. Therapeutic targets of renin-angiotensin system in ocular disorders. *J Curr Ophthalmol*. 2016;29(1):7-16. doi: 10.1016/j.joco.2016.09.009
16. Salari N, Bokaei S, Farshchian N, Mohammadi M, Kazeminia M. The role of polymorphisms rs2070744 and rs1799983 eNOS gene in patients with POAG: A systematic review and meta-analysis. *Int Ophthalmol*. 2021;41(8):2747-2763. doi: 10.1007/s10792-021-01832-y
17. Cook S, Malyutina S, Kudryavtsev AV, *et al.* Know Your Heart: Rationale, design and conduct of a cross-sectional study of cardiovascular structure, function and risk factors in 4500 men and women aged 35-69 years from two Russian cities, 2015-18. *Wellcome Open Res*. 2018;3:67. doi: 10.12688/wellcomeopenres.14619.3
18. Roberts HC, Denison HJ, Martin HJ, *et al.* A review of the measurement of grip strength in clinical and epidemiological studies: Towards a standardised approach. *Age Ageing*. 2011;40(4):423-429. doi: 10.1093/ageing/afr051

REFERENCES

1. Frolova E, Arosio B, Lim WS. Editorial: Intrinsic capacity and resilience vs. frailty: On the way to healthy aging. *Front Med (Lausanne)*. 2023;21:10:1155648. doi: 10.3389/fmed.2023.1155648
2. Meng LC, Huang ST, Peng LN, Chen LK, Hsiao FY. Biological features of the outcome-based intrinsic capacity composite scores from a population-based cohort study: Pas de Deux of biological and functional aging. *Front Med (Lausanne)*. 2022;9:851882. doi: 10.3389/fmed.2022.851882
3. Provorova AA, Smirennikova EV, Ukhanova AV. Population health in the Russian Arctic: Problems, challenges, solutions. *Arktika i Sever*. 2024;(55):161-181. (In Russ.) doi: 10.37482/issn2221-2698.2024.55.161

19. Löwik MR, Odink J, Kok FJ, Ockhuizen T. Hematocrit and cardiovascular risk factors among elderly men and women (Dutch Nutrition Surveillance System). *Gerontology*. 1992;38(4):205-213. doi: 10.1159/000213329
20. Faulhaber HD, Gruner R, Homuth V, et al. Nitrendipine treatment in so-called therapy-resistant arterial hypertension; effect as monotherapy and in combination with propranolol on blood pressure, heart rate, other hemodynamic parameters, plasma renin activity, and catecholamines. *J Cardiovasc Pharmacol*. 1988;12(Suppl 4):S146-S148. doi: 10.1097/00005344-198806124-00033
21. Laurent S, Cockcroft J, Van Bortel L, et al.; European Network for Non-Invasive Investigation of Large Arteries. Expert consensus document on arterial stiffness: Methodological issues and clinical applications. *Eur Heart J*. 2006;27(21):2588-2605. doi: 10.1093/eurheartj/ehl254
22. El-Garawani IM, Shaheen EM, El-Seedi HR, et al. Angiotensinogen gene missense polymorphisms (rs699 and rs4762): The association of end-stage renal failure risk with type 2 diabetes and hypertension in Egyptians. *Genes (Basel)*. 2021;12(3):339. doi: 10.3390/genes12030339
23. Sethupathy P, Borel C, Gagnebin M, et al. Human microRNA-155 on chromosome 21 differentially interacts with its polymorphic target in the AGTR1 3' untranslated region: A mechanism for functional single-nucleotide polymorphisms related to phenotypes. *Am J Hum Genet*. 2007;81(2):405-413. doi: 10.1086/519979
24. Liktor B, Csomor P, Szasz CS, Sziklai I, Karosi T. No evidence for the expression of renin-angiotensin-aldosterone system in otosclerotic stapes footplates. *Otol Neurotol*. 2013;34(5):808-815. doi: 10.1097/MAO.0b013e31827d8a80
25. Glotov AS, Glotov OS, Moskalenko MV, Rogozkin VA, Ivashchenko TE, Baranov VS. Analysis of genes polymorphisms of renin-angiotensin systems in population, athletes and elderly people. *Ekologicheskaya Genetika*. 2004;2(4):40-43. (In Russ.) doi: 10.17816/ecogen2440-43
26. Deminice R, Hyatt H, Yoshihara T, et al. Human and rodent skeletal muscles express angiotensin II type 1 receptors. *Cells*. 2020;9(7):1688. doi: 10.3390/cells9071688
27. Afsar B, Afsar RE, Caliskan Y, Lentine KL, Edwards JC. Renin angiotensin system-induced muscle wasting: Putative mechanisms and implications for clinicians. *Mol Cell Biochem*. 2025;480(4):1935-1949. doi: 10.1007/s11010-024-05043-8
28. Heisterberg MF, Andersen JL, Schjerling P, et al. Losartan has no additive effect on the response to heavy-resistance exercise in human elderly skeletal muscle. *J Appl Physiol* (1985). 2018;125(5):1536-1554. doi: 10.1152/jappphysiol.00106.2018
29. Mordvinova EV, Sustretov AS, Mironova TP, Davydkin IL, Naumova KV, Stepanova TYu. Association of single nucleotide polymorphism Lys198Asn of the endothelin-1 gene with its concentration in the serum of multiple myeloma patients. *Meditsinskaya Genetika*. 2023;22(3):54-58. (In Russ.) doi: 10.25557/2073-7998.2023.03.54-58
30. Pinho-Ribeiro FA, Borghi SM, Staurengo-Ferrari L, Filgueiras GB, Estanislau C, Verri WA Jr. Bosentan, a mixed endothelin receptor antagonist, induces antipressant-like activity in mice. *Neurosci Lett*. 2014;560:57-61. doi: 10.1016/j.neulet.2013.12.018
31. Chen M, Yan HH, Shu S, et al. Amygdalar endothelin-1 regulates pyramidal neuron excitability and affects anxiety. *Sci Rep*. 2017;7(1):2316. doi: 10.1038/s41598-017-02583-6
32. Ikenouchi-Sugita A, Yoshimura R, Kishi T, et al. Three polymorphisms of the eNOS gene and plasma levels of metabolites of nitric oxide in depressed Japanese patients: A preliminary report. *Hum Psychopharmacol*. 2011;26(7):531-534. doi: 10.1002/hup.1239
33. Wang Q, Sun H, Qi X, Zhou M. eNOS rs2070744 polymorphism might influence predisposition to hemorrhagic cerebral vascular diseases in East Asians: A meta-analysis. *Brain Behav*. 2020;10(5):e01538. doi: 10.1002/brb3.1538
34. Kittel-Schneider S, Reuß M, Meyer A, et al. Multi-level biomarker analysis of nitric oxide synthase isoforms in bipolar disorder and adult ADHD. *J Psychopharmacol*. 2015;29(1):31-38. doi: 10.1177/0269881114555251
35. Titov B, Matveeva N, Kulakova O, et al. Vasovagal syncope is associated with variants in genes involved in neurohumoral signaling pathways. *Genes (Basel)*. 2022;13(9):1653. doi: 10.3390/genes13091653
36. Doshi AA, Ziolo MT, Wang H, Burke E, Lesinski A, Binkley P. A promoter polymorphism of the endothelial nitric oxide synthase gene is associated with reduced mRNA and protein expression in failing human myocardium. *J Card Fail*. 2010;16(4):314-319. doi: 10.1016/j.cardfail.2009.12.013
37. Starchina YuA, Grishina DA, Sokolov EA, Parfenov VA. The use of inhaled nitric oxide (Tianox device) in patients with moderate cognitive impairment. *Nevrologiya, Neiropsikhiatriya, Psikhosomatika*. 2023;15(6):64-70. (In Russ.) doi: 10.14412/2074-2711-2023-6-64-70
38. Wang H, Liu J, He J, et al. Potential mechanisms underlying the therapeutic roles of sinisan formula in depression: Based on network pharmacology and molecular docking study. *Front Psychiatry*. 2022;13:1063489. doi: 10.3389/fpsy.2022.1063489

Сведения об авторах:

✉ **Бебякова** Наталья Александровна – д.б.н., профессор, зав. кафедрой медицинской биологии и генетики, ФГБОУ ВО СГМУ (г. Архангельск) Минздрава России; e-mail: nbebyakova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9346-1898>

Кригер Екатерина Анатольевна – к.м.н., доцент, научный сотрудник лаборатории медицинской генетики; доцент кафедры методологии научных исследований ФГБОУ ВО СГМУ (г. Архангельск) Минздрава России; e-mail: kate-krieger@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5179-5737>

Левицкий Сергей Николаевич – к.б.н., доцент, доцент кафедры медицинской биологии и генетики, ФГБОУ ВО СГМУ (г. Архангельск) Минздрава России; e-mail: sergeylevitski@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2588-620X>

Шабалина Ирина Алексеевна – к.б.н., доцент, доцент кафедры медицинской биологии и генетики, ФГБОУ ВО СГМУ (г. Архангельск) Минздрава России; e-mail: ira_sha@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9425-3882>

Поскотинова Лилия Владимировна – д.б.н., к.м.н., доцент, гл. науч. сотр., зав. лабораторией биоритмологии, Институт физиологии природных адаптаций, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова» УрО РАН; профессор кафедры семейной медицины и внутренних болезней, ФГБОУ ВО СГМУ (г. Архангельск) Минздрава России; e-mail: liliya200572@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7537-0837>

Зеленцов Роман Николаевич – к.м.н., доцент, доцент кафедры семейной медицины и внутренних болезней, ФГБОУ ВО СГМУ (г. Архангельск) Минздрава России; e-mail: zelentsovrm@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4875-0535>

Синайская Мария Александровна – к.м.н., доцент кафедры семейной медицины и внутренних болезней, ФГБОУ ВО СГМУ (г. Архангельск) Минздрава России; e-mail: msinayskaya@inbox.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6587-7149>

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-36-49>

Оригинальная исследовательская статья

Моисеева Александра Анатольевна – ассистент кафедры семейной медицины и внутренних болезней, ФГБОУ ВО СГМУ (г. Архангельск) Минздрава России; e-mail: ozhiginas73@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3535-2237>.

Кривоногова Елена Вячеславовна – к.б.н., ст. науч. сотр. лаборатории биоритмологии, Институт физиологии природных адаптаций, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова» УрО РАН; e-mail: elena200280@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2323-5246>.

Кривоногова Ольга Вячеславовна – к.б.н., науч. сотр. лаборатории биоритмологии, Институт физиологии природных адаптаций, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова» УрО РАНФ; e-mail: ja.olga1@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7267-8836>.

Печинкина Наталья Игоревна – младший научный сотрудник научной клинко-диагностической лаборатории, ФГБОУ ВО СГМУ (г. Архангельск) Минздрава России; e-mail: belova-8@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9066-5687>.

Звездина Юлия Михайловна – младший научный сотрудник научной клинко-диагностической лаборатории, ФГБОУ ВО СГМУ (г. Архангельск) Минздрава России; e-mail: julia.pawlovskaya@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5725-0145>.

Кудрявцев Александр Валерьевич – PhD, начальник управления по научной и инновационной работе, ФГБОУ ВО СГМУ (г. Архангельск) Минздрава России; e-mail: alex.v.kudryavtsev@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8902-8947>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Кудрявцев А.В.*; сбор данных: *Кривоногова Е.В.*, *Кривоногова О.В.*, *Печинкина Н.И.*, *Звездина Ю.М.*; анализ и интерпретация результатов: *Кригер Е.А.*, *Кудрявцев А.В.*; обзор литературы: *Бобыкова Н.А.*, *Поскотинова Л.В.*, *Зеленцов Р.Н.*, *Левитский С.Н.*, *Шабалина И.А.*; подготовка проекта рукописи: *Бобыкова Н.А.*, *Поскотинова Л.В.*, *Кригер Е.А.*, *Кудрявцев А.В.* Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: Исследование было одобрено Локальным этическим комитетом Северного государственного медицинского университета Минздрава России (протокол № 03/04-23 от 26 апреля 2023 года).

Финансирование: исследование выполнено с использованием средств гранта Российского научного фонда № 23-15-20017, <https://rscf.ru/project/23-15-20017/>.

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

Статья получена: 29.09.25 / Принята к публикации: 10.02.26 / Опубликовано: 27.02.26

Author information:

✉ Natalya A. **Bebyakova**, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Head of the Department of Medical Biology and Genetics, Northern State Medical University; e-mail: nbebyakova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9346-1898>.

Ekaterina A. **Krieger**, Cand. Sci. (Med.), docent; Research Fellow, Laboratory of Medical Genetics; Associate Professor, Department of Research Methodology, Northern State Medical University; e-mail: kate-krieger@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5179-5737>.

Sergey N. **Levitskiy**, Cand. Sci. (Biol.), docent; Associate Professor, Department of Medical Biology and Genetics, Northern State Medical University; e-mail: sergeylevitskiy@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2588-620X>.

Irina A. **Shabalina**, Cand. Sci. (Biol.), docent; Associate Professor, Department of Medical Biology and Genetics, Northern State Medical University; e-mail: ira_sha@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9425-3882>.

Liliya V. **Poskotinova**, Dr. Sci. (Biol.), Cand. Sci. (Med.), docent; Chief Researcher, Head of the Biorhythmology Laboratory, Institute of Environmental Physiology, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Professor, Department of Family Medicine and Internal Medicine, Northern State Medical University; e-mail: liliya200572@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7537-0837>.

Roman N. **Zelentsov**, Cand. Sci. (Med.), docent; Associate Professor, Department of Family Medicine and Internal Medicine, Northern State Medical University; e-mail: zelentsovrm@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4875-0535>.

Mariya A. **Sinayskaya**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Family Medicine and Internal Medicine, Northern State Medical University; e-mail: msinayskaya@inbox.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6587-7149>.

Aleksandra A. **Moiseeva**, Assistant, Department of Family Medicine and Internal Medicine, Northern State Medical University; e-mail: ozhiginas73@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3535-2237>.

Elena V. **Krivotogova**, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Biorhythmology Laboratory, Institute of Environmental Physiology, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (FECIAR UrB RAS); e-mail: elena200280@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2323-5246>.

Olga V. **Krivotogova**, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, Biorhythmology Laboratory, Institute of Environmental Physiology, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: ja.olga1@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7267-8836>.

Natalia I. **Pechinkina**, Junior Researcher, Scientific Clinical Diagnostic Laboratory, Northern State Medical University; e-mail: belova-8@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9066-5687>.

Julia M. **Zvezdina**, Junior Researcher, Scientific Clinical Diagnostic Laboratory, Northern State Medical University; e-mail: julia.pawlovskaya@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5725-0145>.

Alexander V. **Kudryavtsev**, PhD, Head of the Directorate for Research and Innovation, Northern State Medical University; e-mail: alex.v.kudryavtsev@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8902-8947>.

Author contributions: study conception and design: *Kudryavtsev A.V.*; data collection: *Krivotogova E.V.*, *Krivotogova O.V.*, *Pechinkina N.I.*, *Zvezdina J.M.*; analysis and interpretation of results: *Krieger E.A.*, *Kudryavtsev A.V.*; bibliography compilation and referencing: *Bebyakova N.A.*, *Poskotinova L.V.*, *Zelentsov R.N.*, *Levitskiy S.N.*, *Shabalina I.A.*; draft manuscript preparation: *Bebyakova N.A.*, *Poskotinova L.V.*, *Krieger E.A.*, *Kudryavtsev A.V.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: The study was approved by the Local Ethics Committee of the Northern State Medical University of the Russian Ministry of Health (protocol No. 03/04-23 of April 26, 2023).

Funding: This research was funded by grant No. №23-15-20017 from the Russian Science Foundation (<https://rscf.ru/project/23-15-20017/>).

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: September 29, 2025 / Accepted: February 10, 2026 / Published: February 27, 2026



© Коллектив авторов, 2026

УДК 614.2; 316.6

Анализ качества жизни и его предикторов среди студентов-медиков разных курсов обучения в образовательном учреждении высшего медицинского образования

*Л.В. Абольян¹, А.Р. Юсупова¹, В.В. Рюк¹, Л.Д. Сыркин¹, И.В. Судьенков²*¹ ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, г. Москва, 119991, Российская Федерация² АНО ВО «Университет мировых цивилизаций имени В.В. Жириновского», Ленинский пр., д. 1/2, корп. 1, г. Москва, 119049, Российская Федерация

Резюме

Введение. Студенты-медики испытывают более значительные физические и психоэмоциональные нагрузки во время обучения по сравнению со студентами других профессий. Для разработки программ профилактики необходимо изучать факторы, оказывающие воздействие на здоровье и качество жизни студентов.

Цель исследования: провести сравнительный анализ качества жизни студентов-медиков за время их обучения в медицинском университете и выявить медико-демографические предикторы, связанные с качеством жизни.

Материалы и методы. Проведен опрос студентов I, III и V курсов, обучающихся по программе специалитета «лечебное дело». Для оценки качества жизни использовался опросник SF-36. Всего в исследовании приняли участие 1884 студента. Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью программы SPSS.22. Для выявления предикторов качества жизни был проведен множественный регрессионный анализ.

Результаты. Студенты-медики имели высокие показатели физического и низкие показатели психологического компонентов качества жизни. Медиана значений шкалы «физическое функционирование» достигала 95 баллов, а шкал «ролевое эмоциональное функционирование» и «общая активность/энергичность» опускалась до 33,0 и 45,0 балла соответственно. Выявлены гендерные различия в показателях качества жизни. У юношей медиана «суммарного физического компонента» составляла 80,0 балла и «суммарного психологического компонента» – 61,0 балла, а у девушек – 72,0 и 49,0 балла соответственно ($p = 0,001$). Имело место повышение физического компонента среди студентов V курса и самые низкие показатели психологического компонента среди студентов III курса. Основные предикторы качества жизни – стрессы, двигательная активность, жилищно-бытовые условия и материальная обеспеченность, максимальный вклад которых в дисперсию физического и психологического компонентов достигал 25,1 и 38,8 % соответственно.

Выводы. Выявленные показатели качества жизни студентов-медиков на разных курсах обучения, а также ассоциированные с ними медико-демографические факторы следует учитывать при разработке программ профилактики заболеваний и укрепления здоровья учащихся.

Ключевые слова: студенты, медицинский университет, качество жизни, медико-демографические предикторы, множественный регрессионный анализ.

Для цитирования: Абольян Л.В., Юсупова А.Р., Рюк В.В., Сыркин Л.Д., Судьенков И.В. Анализ качества жизни и его предикторов среди студентов-медиков разных курсов обучения в образовательном учреждении высшего медицинского образования // Здоровье населения и среда обитания. 2026. Т. 34. № 2. С. 50–59. doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-50-59

Analysis of the Quality of Life and Its Predictors among Different Year Medical University Students

*Liubov V. Abolyan,¹ Azaliya R. Yusupova,¹ Valeriy V. Royuk,¹ Leonid D. Syrkin,¹ Igor V. Sudenkov²*¹ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Bldg 2, 8 Trubetskaya Street, Moscow, 119991, Russian Federation² Zhirinovsky University of World Civilizations, Bldg 1, 1/2 Leninsky Avenue, Moscow, 119049, Russian Federation

Summary

Introduction: Medical students experience greater physical and psycho-emotional stress during their academic years compared to students of other professions. To develop prevention programs, it is necessary to study the factors that affect students' health and the quality of life.

Objective: To compare the quality of life of medical university students between the years of study and identify its health and demographic predictors.

Materials and Methods: Using the SF-36 questionnaire to assess the quality of life, we conducted a survey of 1,884 first, third, and fifth-year university students specializing in general practice. Collected data were analyzed using SPSS version 22, and a multiple regression analysis was performed to identify quality of life predictors.

Results: Medical students had high physical but low psychological quality of life scores. The median scores of physical functioning reached 95 points, while the role functioning and vitality scores dropped to 33.0 and 45.0 points, respectively. We established sex-specific differences in the quality of life indicators. Median physical and mental component summary scores in boys were 80.0 and 61.0 points, while in girls they were 72.0 and 49.0 points, respectively ($p = 0.001$). We observed an increase in the physical component score among fifth-year students and the lowest psychological component scores among the third-years. The main predictors of the quality of life were stress, physical activity, housing conditions, and financial situation, the maximum contribution of which to the variance of the physical and psychological components reached 25.1 % and 38.8 %, respectively.

Conclusion: The quality of life indicators established in medical university students and the associated health and demographic factors should be taken into account when developing disease prevention and health promotion programs for students.

Keywords: students, medical university, health-related quality of life, medical and demographic predictors, multiple regression analysis.

Cite as: Abolyan LV, Yusupova AR, Royuk VV, Syrkin LD, Sudenkov IV. Analysis of the quality of life and its predictors among different year medical university students. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2026;34(2):50–59. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-50-59

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-50-59>

Оригинальная исследовательская статья

Введение. По данным министра науки и высшего образования Российской Федерации В.Н. Фалькова на 10 июня 2024 г., медицинское образование в России можно получить в 127 образовательных учреждениях высшего образования. Общее количество студентов медицинского профиля, обучающихся по программам высшего образования, составляет более 300 тысяч¹.

В российских и зарубежных источниках отмечается, что студенты-медики испытывают более значительные физические и психоэмоциональные нагрузки во время обучения по сравнению со студентами других профессий. Эти нагрузки связаны с длительным обучением, большим объемом новой информации, многочасовыми занятиями на кафедрах и за их пределами, постоянной близостью к болезням, работой с пациентами, а также частым совмещением учебы с работой, включая работу в ночные часы, что приводит практически к отсутствию свободного времени для отдыха, занятий спортом и пр. [1–8].

Большая учебная нагрузка и психоэмоциональные стрессы во время учебы являются причиной роста заболеваемости среди студентов-медиков и снижения их качества жизни, что в свою очередь может оказывать негативное воздействие на успеваемость студентов и качество подготовки будущих врачей, что имеет существенное значение для системы здравоохранения [2, 8–10].

Качество жизни, связанное со здоровьем, рассматривается в настоящее время как один из важных компонентов состояния здоровья студентов и населения в целом. Оно отражает субъективное восприятие студентами их физического и психологического благополучия, а также социального взаимодействия с окружающими². По мнению М. Bilawal и соавт., «качество жизни студентов-медиков имеет исключительное значение, поскольку оно влияет на их успехи в учебе, профессиональное развитие, качество оказываемой ими медицинской помощи и личное благополучие» [8]. Оканганская хартия³ и создание Международной сети Health Promoting University/HPU (Университетов и колледжей, способствующих укреплению здоровья) во многом способствовали проведению исследований, связанных с качеством жизни студентов [11–12]. Оценке качества жизни студентов-медиков посвящено большое число отечественных [1–3, 9, 13] и особенно зарубежных работ [5–8, 10, 14–17]. Вместе с тем для разработки программ профилактики заболеваний, сохранения и укрепления здоровья студенческой молодежи вопрос оценки качества жизни и его медико-демографических предикторов на разных курсах обучения остается актуальным.

Цель исследования – провести сравнительный анализ качества жизни студентов медицинского профиля за время их обучения в медицинском

университете и выявить медико-демографические предикторы, связанные с качеством жизни.

Материалы и методы. Исследование проводилось среди студентов I, III и V курсов Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского (ИКМ) Сеченовского университета, обучающихся по программе специалитета «лечебное дело» в продолжение ранее начатого нами исследования по оценке здоровья и качества жизни студентов-медиков во время их обучения в медицинском университете [18].

Оценка качества жизни, связанного со здоровьем, была проведена с помощью опросника SF-36, который прошел валидизацию в России и широко используется в отечественных исследованиях. Опросник позволяет оценить качество жизни по 8 основным шкалам, характеризующим физический и психологический компоненты качества жизни, а также двум дополнительным шкалам, характеризующим суммарный физический и суммарный психологический компоненты качества жизни. Значения шкал варьируют от 0 до 100 баллов. Более высокому баллу соответствуют более высокие показатели качества жизни.

Медико-демографические характеристики студентов изучались путем опроса студентов с помощью разработанной нами анкеты [18]. Опрос проводился анонимно на платформе Яндекс Форм (Yandex Forms). Всего в исследовании приняли участие 1884 студента, из них 612, 670 и 602 студента I, III и V курсов соответственно. Объем выборки репрезентативный, исходя из определения объема выборки по методике В.И. Паниотто при уровне значимости 0,05 [19]. Исследование проводилось в течение 2024–2025 учебного года.

Для статистической обработки полученных данных была использована программа SPSS.22. Вычислялись показатели параметрической и непараметрической статистики. Медико-демографические предикторы качества жизни определялись методом множественного регрессионного анализа⁴. Модель множественной линейной регрессии включала следующие коэффициенты: стандартный коэффициент регрессии (β), коэффициент множественной корреляции (R) и коэффициент детерминации (R^2); последний отражал долю дисперсии суммарного физического и суммарного психологического компонентов качества жизни, обусловленной совокупным воздействием выявленных медико-демографических предикторов. За уровень значимости были приняты значения $p < 0,05$. Исследование одобрено Локальным этическим комитетом (ЛЭК) Сеченовского Университета (выписка из протокола № 28-24 от 21.11.2024).

Результаты. Медико-демографические характеристики студентов-медиков I, III и V курсов представлены в табл. 1.

¹ Совместное заседание Ассоциации «Совет ректоров медицинских и фармацевтических высших учебных заведений» и Совета деканов (директоров) медицинских факультетов государственных университетов Министерства образования и науки Российской Федерации. 10 июня 2024 года, г. Москва. <https://www.sechenov.ru/pressroom/news/v-sovet-rektorov-vyshshikh-meduchrezhdeniy-rossii-voshli-novye-uchastniki/?ysclid=md0jxtb17c395030389>.

² Новик А.А., Ионова Т.И. Руководство по исследованию качества жизни в медицине М.: Из-во Национального медико-хирургического центра им. Н. И. Пирогова, 2021. 664 с.

³ Okanagan Charter: An International Charter for Health Promoting Universities and Colleges (2015). https://aurora.uconn.edu/wp-content/uploads/sites/3778/2024/04/Okanagan_Charter_Oct_6_2015.pdf.

⁴ Наследов А. SPSS 19: профессиональный статистический анализ данных. СПб.: Питер, 2020. 400 с.

Таблица 1. Медико-демографические характеристики студентов-медиков I, III и V курсов
Table 1. Medical and demographic characteristics of the first, third and fifth-year medical students

Показатели	Курсы обучения / Courses of study			P
	I (n = 612)	III (n = 670)	V (n = 602)	
Возраст, лет/ Age, years <i>M ± SD</i>	18,3 ± 1,3	20,3 ± 3,4	22,5 ± 2,1	—
Пол / Sex мужской / женский male / female % (n)	26,3 / 73,7 (161 / 451)	24,1 / 75,9 (160 / 510)	18,4 / 81,6 (111 / 491)	$p_{I,III} = 0,332$ $p_{III,V} = 0,018$ $p_{I,V} = 0,001$
Форма обучения / Form of education, % (n) — на договорной основе / paid — целевая / targeted — бюджетная / free of charge	23,0 (141) 43,0 (263) 34,0 (208)	35,8 (240) 43,5 (292) 20,7 (138)	43,2 (260) 34,1 (205) 22,8 (137)	$p_{I,III} = 0,001$ $p_{III,V} = 0,002$ $p_{I,V} = 0,001$
Жилищно-бытовые условия / Housing and living conditions, % (n) — неудовлетворительные / poor — удовлетворительные / satisfactory — хорошие / good — очень хорошие / very good	2,6 (16) 18,5 (113) 34,6 (212) 44,3 (271)	0,9 (6) 11,2 (75) 39,9 (267) 48,0 (322)	2,3 (14) 15,4 (93) 37,4 (225) 44,9 (270)	$p_{I,III} = 1,0$ $p_{III,V} = 0,497$ $p_{I,V} = 0,497$
Совмещение учебы с работой / Combining study and work, % (n) — да / yes — нет / no	17,6 (108) 82,4 (504)	25,2 (169) 74,8 (501)	62,6 (377) 37,4 (225)	$p_{I,III} = 0,001$ $p_{III,V} = 0,001$ $p_{I,V} = 0,001$
Материальное положение / Financial situation, % (n) — ниже среднего / below average — средний уровень / average — выше среднего / above average	17,2 (105) 66,5 (407) 16,3 (100)	14,6 (97) 68,6 (460) 16,8 (113)	25,6 (154) 61,8 (372) 12,6 (76)	$p_{I,III} = 0,420$ $p_{III,V} = 0,001$ $p_{I,V} = 0,001$
Соблюдение принципов ЗОЖ / Compliance with the principles of healthy lifestyle, % (n) — я не веду здоровый образ жизни / I do not lead a healthy lifestyle — мой образ жизни не вполне соответствует принципам ЗОЖ / my lifestyle does not fully comply with the principles of healthy lifestyle — я стараюсь вести здоровый образ жизни / I try to lead a healthy lifestyle	10,8 (66) 44,9 (275) 44,3 (271)	12,2 (82) 51,9 (347) 35,9 (241)	9,5 (57) 49 (295) 41,5 (250)	$p_{I,III} = 0,010$ $p_{III,V} = 0,001$ $p_{I,V} = 0,001$
Удовлетворены ли Вы уровнем своей двигательной активности / Satisfaction with the level of physical activity, % (n) — не удовлетворен(а) / not satisfied — удовлетворен(а) частично / partially satisfied — да, полностью удовлетворен(а) / fully satisfied	19,8 (121) 49,8 (305) 30,4 (186)	26,2 (175) 45,8 (307) 28,0 (188)	24,6 (148) 48,5 (292) 26,9 (162)	$p_{I,III} = 0,027$ $p_{III,V} = 0,628$ $p_{I,V} = 0,102$
Сколько часов в среднем ежедневно Вы спите / Hours of night sleep, % (n) — ≤ 6 — 7–8 — ≥ 9	71,9 (440) 26,8 (164) 1,3 (8)	63,6 (426) 35,4 (237) 1,0 (7)	70,4 (424) 27,9 (168) 1,7 (10)	$p_{I,III} = 0,005$ $p_{III,V} = 0,013$ $p_{I,V} = 0,808$
Сколько раз в день Вы питаетесь / Number of meals a day, % (n) — 2–3 — 4–6	83,4 (510) 16,6 (102)	80,2 (537) 19,8 (133)	79,2 (477) 20,8 (125)	$p_{I,III} = 0,037$ $p_{III,V} = 0,013$ $p_{I,V} = 0,143$
Вы курите / Current smoking, % (n) — да, регулярно / yes, regularly — иногда / sometimes — нет / no	11,4 (70) 10,8 (66) 77,8 (476)	16,2 (108) 13,4 (90) 70,4 (472)	17,4 (105) 16,3 (98) 66,3 (399)	$p_{I,III} = 0,001$ $p_{III,V} = 0,001$ $p_{I,V} = 0,001$
Употребляете ли Вы алкоголь / Alcohol consumption, % (n) — ежедневно / daily — 1–2 раза в месяц / 1–2 times a month — 1–2 раза неделю / 1–2 times a week — только по праздникам / only on holidays — редко в компании / rarely in the company — вообще не употребляю / never	1,5 (9) 1,1 (7) 5,9 (36) 22,2 (136) 18,0 (110) 51,3 (314)	0,4 (3) 3,0 (20) 12,7 (85) 20,9 (140) 29,5 (198) 33,5 (224)	0,8 (5) 4,3 (26) 15,8 (95) 16,8 (101) 26,1 (157) 36,2 (218)	$p_{I,III} = 0,001$ $p_{III,V} = 0,127$ $p_{I,V} = 0,001$
Уровень Вашей учебной нагрузки за последний месяц / Academic workload over the last month, % (n) — очень высокий / very high — высокий / high — средний / moderate — низкий / low	50,6 (310) 38,6 (236) 9,3 (57) 1,5 (9)	44,3 (297) 42,0 (281) 13,4 (90) 0,3 (2)	28,2 (170) 42,0 (253) 27,4 (165) 2,3 (14)	$p_{I,III} = 0,004$ $p_{III,V} = 0,001$ $p_{I,V} = 0,001$
Как часто Вы испытываете стрессы, нервничаете, беспокоитесь / Feeling stressed, nervous, worried, % (n) — постоянно / constantly — часто / often — редко / rarely	33,0 (202) 45,8 (280) 21,2 (130)	33,5 (225) 47,7 (319) 18,8 (126)	27,9 (168) 49,0 (295) 23,1 (139)	$p_{I,III} = 0,544$ $p_{III,V} = 0,044$ $p_{I,V} = 0,155$
Стрессы и беспокойство связаны, на 100 опрошенных / Stress and anxiety are related to, per 100 respondents — с учебой / studies — с личной жизнью / personal life — с семьей / family — со здоровьем / health	94,1 (576) 35,6 (218) 20,6 (126) 22,1 (135)	93,1 (624) 40,4 (271) 33,1 (222) 27,8 (186)	87,9 (529) 46,8 (282) 31,7 (191) 30,4 (183)	—
Информированность по вопросам профилактики заболеваний и укрепления своего здоровья (5-балльная шкала) / Awareness of disease prevention and health promotion (5-point scale) <i>M ± SD</i> , баллы / points	4,2 ± 0,9	4,3 ± 0,8	4,4 ± 0,9	$p_{I,III} = 0,057$ $p_{III,V} = 0,024$ $p_{I,V} = 0,001$

Средний возраст студентов первого, третьего и пятого курсов составлял $18,3 \pm 1,3$; $20,3 \pm 3,4$ и $22,5 \pm 2,1$ года соответственно; на всех курсах доля девушек в 4–5 раз превышала долю юношей, причем доля юношей достоверно сокращалась к пятому курсу обучения с 26,3 до 18,4 % ($p = 0,001$). Доля студентов, обучающихся на договорной основе, составляла 23,0–43,2 % и достоверно возрастала на третьем и пятом курсах обучения ($p = 0,001$). Доля работающих студентов к пятому курсу достигла 62,6 %, что примерно в 3,5 раза превышало долю работающих студентов на первом курсе – 17,6 % ($p = 0,001$). Большинство студентов положительно оценивали свое материальное положение и жилищно-бытовые условия, однако среди студентов старшего курса возрастала доля студентов, которые оценивали свое материальное положение ниже среднего уровня – 25,6 % ($p = 0,001$).

Здоровый образ жизни ведут лишь около 40 % студентов, причем доля студентов, ведущих здоровый образ жизни, достоверно снижалась от первого к более старшим курсам, также отмечалась тенденция снижения и двигательной активности студентов. К отрицательным факторам образа жизни студентов всех курсов обучения следует отнести недостаточный сон – 6 часов и менее в сутки (64,0–72,0 %), а также редкие приемы пищи – 2–3 раза в день (80,0–83,0 %). Причем наименьшая доля студентов с низкой длительностью сна была отмечена среди студентов третьего курса – 63,6 %, по сравнению со студентами первого и пятого курсов – 71,9 и 70,4 % соответственно ($p < 0,05$). Большинство студентов ответили, что они не курят – 66,0–78,0 %, однако доля некурящих студентов достоверно снижалась на более старших курсах обучения ($p = 0,001$). Также снижалась доля студентов, которые вообще не употребляли алкоголь – с 51,3 % на первом курсе до 36,2 % на пятом курсе ($p = 0,001$).

Следует отметить, что большинство студентов испытывали стрессы постоянно или часто, которые они связывали главным образом со значительной учебной нагрузкой. Доля студентов, испытывающих психологический дискомфорт – стрессы, нервное напряжение и беспокойство, достигала 81,2 % на третьем курсе и достоверно снижалась к пятому курсу, но, тем не менее, оставалась на высоком уровне – 76,9 % ($p = 0,044$).

Студенты отмечали небольшое повышение информированности по вопросам профилактики заболеваний и укрепления своего здоровья к пятому курсу – с 4,2–4,3 до 4,4 балла ($p < 0,05$).

Показатели качества жизни студентов I, III и V курсов представлены в табл. 2.

Студенты всех трех курсов обучения имели высокие показатели физического компонента качества жизни и низкие показатели психологического компонента. Медиана значений шкалы «физическое функционирование» была близка к максимальному значению и составляла 95,0 балла. В то же время медиана значений шкал «ролевое эмоциональное функционирование» и «общая активность/энергичность», характеризующих психологический компонент качества жизни, имела низкие

значения – 33,0 и 45,0–50,0 балла соответственно. Значения «суммарного физического компонента» были достоверно выше значений «суммарного психологического компонента» среди студентов всех трех курсов обучения – 73,0–76,0 и 50,0–54,0 балла соответственно ($p = 0,001$).

Выявлены гендерные различия в показателях качества жизни студентов. Медиана значений «суммарного физического» и «суммарного психологического» компонентов была достоверно выше у юношей по сравнению с девушками. Эти показатели составляли соответственно 80,0 и 61,0 балла среди юношей и 72,0 и 49,0 балла среди девушек ($p = 0,001$) (см. табл. 3).

Было выявлено незначительное, но достоверное повышение среднего значения шкалы «физическое функционирование» от первого к пятому курсу обучения ($p = 0,029$) (см. рисунок). Также были выявлены самые низкие средние значения шкал «ролевое эмоциональное функционирование» и «суммарный психологический компонент» среди студентов третьего курса по сравнению со студентами первого и пятого курсов. Эти различия носили достоверный характер ($p < 0,05$) (см. табл. 2 и рисунок).

Результаты множественного регрессионного анализа по выявлению медико-демографических предикторов качества жизни студентов I, III и V курсов. Выявлено, что среди изучаемых медико-демографических факторов (предикторов) были связаны с физическим компонентом качества жизни стрессы, двигательная активность, жилищно-бытовые условия и материальная обеспеченность, совмещение учебы и работы, а также соблюдение принципов ЗОЖ и информированность по вопросам сохранения своего здоровья. Значения коэффициента множественной корреляции (R) для этих семи предикторов были равны 0,343; 0,460 и 0,507 ($p = 0,001$) среди студентов первого, третьего и пятого курсов соответственно, а коэффициента детерминации (R^2) – 0,113, 0,205 и 0,251 ($p = 0,001$) соответственно. Вклад выявленных предикторов в дисперсию физического компонента качества жизни составил 11,3 % на первом курсе обучения и вырос до 20,5 и 25,1 % на третьем и пятом курсах соответственно. Положительное влияние на физическую составляющую качества жизни оказывали двигательная активность и соблюдение принципов ЗОЖ, хорошие жилищно-бытовые условия и материальная обеспеченность, а также информированность по вопросам сохранения своего здоровья, в то время как стрессы и совмещение работы и учебы снижали показатели физического компонента качества жизни.

С психологическим компонентом качества жизни были связаны также стрессы, двигательная активность, материальная обеспеченность и жилищно-бытовые условия. В отличие от физического компонента, в число медико-демографических предикторов психологического компонента не вошли совмещение работы и учебы, соблюдение принципов ЗОЖ и информированность по вопросам своего здоровья. Значения коэффициента множественной корреляции для выявленных четырех предикторов равнялись

Таблица 2. Качество жизни студентов-медиков I, III и V курсов (баллы)

Table 2. Quality of life of the first, third, and fifth-year medical university students (scores)

Шкалы опросника SF-36 / SF-36 questionnaire scales	I (n = 612)		III (n = 670)		V (n = 602)	
	Средняя / Mean (M ± SD)	Медиана / Median (Me; IQR)	Средняя / Mean (M ± SD)	Медиана / Median (Me; IQR)	Средняя / Mean (M ± SD)	Медиана / Median (Me; IQR)
Физическое функционирование / Physical Functioning	88,1 ± 18,1*	95,0 (85,0–100,0)	90,2 ± 14,6	95,0 (85,0–100,0)	89,5 ± 16,8*	95,0 (85,0–100,0)
Роль физическое функционирование / Role-Physical	62,1 ± 37,4	75,0 (25,0–100,0)	61,9 ± 37,2	75,0 (25,0–100,0)	62,8 ± 40,4	75,0 (25,0–100,0)
Боль / Body Pain	71,1 ± 23,9	72,0 (51,0–100,0)	69,8 ± 24,2	72,0 (51,0–100,0)	70,2 ± 24,9	72,0 (51,0–100,0)
Общее здоровье / General Health	65,1 ± 20,6	67,0 (52,0–80,0)	63,4 ± 21,2	65,0 (50,0–80,0)	65,3 ± 20,4	67,0 (50,0–82,0)
Психическое здоровье / Mental Health	54,2 ± 21,2	56,0 (40,0–68,0)	53,0 ± 20,5	52,0 (40,0–68,0)	53,9 ± 20,4	52,0 (40,0–68,0)
Роль эмоциональное функционирование / Role-Emotional	47,5 ± 42,0**	33,0 (0–100,0)	41,6 ± 40,2**	33,0 (0–67,0)	48,4 ± 42,8**	33,0 (0–100,0)
Социальное функционирование / Social Functioning	67,0 ± 25,6	63,0 (50,0–88,0)	65,4 ± 24,5	63,0 (50,0–88,0)	65,0 ± 25,2	63,0 (50,0–88,0)
Общая активность / энергичность / Vitality	47,3 ± 21,6	50,0 (30,0–60,0)	45,7 ± 21,3	45,0 (30,0–60,0)	46,1 ± 20,7	47,0 (30,0–60,0)
Суммарный физический компонент / Physical Component Summary	71,6 ± 18,4	73,0 (59,0–87,0)	71,3 ± 18,3	73,0 (59,0–85,0)	72,0 ± 19,4	76,0 (57,0–88,0)
Суммарный психологический компонент / Mental Component Summary	54,0 ± 22,3***	54,0 (37,0–72,0)	51,4 ± 21,7***	50,0 (35,0–68,0)	53,3 ± 22,6	53,0 (36,0–73,0)

* $p_{I,V} = 0,029$; ** $p_{I,III} = 0,013$; $p_{III,V} = 0,006$; *** $p_{I,III} = 0,025$.

0,509, 0,624 и 0,608 ($p = 0,001$) соответственно для студентов первого, третьего и пятого курсов, а коэффициента детерминации – 0,255, 0,388 и 0,365 ($p = 0,001$) соответственно. Их вклад в дисперсию психологического компонента был более значительным, чем в значение физического компонента и составлял 25,5, 38,8 и 36,5 % соответственно на первом, третьем и пятом курсах обучения. Также как и на физический компонент качества жизни, отрицательное влияние на психологический компонент оказывали стрессы, положительное – двигательная активность, хорошие жилищно-бытовые условия и материальная обеспеченность.

Следует отметить, что стрессы и двигательная активность имели наиболее высокие значения стандартного коэффициента регрессии (β) в модели множественной регрессии, что свидетельствует об их наибольшем вкладе в значения изучаемых показателей качества жизни как физического, так и психологического компонентов. Для студентов пятого курса возростала роль стресса и материальной обеспеченности в качестве предикторов психологического компонента, в то время как

двигательная активность и жилищно-бытовые условия в сочетании с другими предикторами не имели существенного значения.

Обсуждение. В нашем исследовании студенты всех трех курсов обучения (I, III и V) имели высокие значения физической составляющей качества жизни и низкие психологической. Значения суммарного физического компонента качества жизни были достоверно выше значений психологического компонента среди студентов всех трех курсов обучения.

Анализ отечественных и зарубежных исследований последних лет по оценке качества жизни студентов-медиков показал, что студенты медицинского профиля имеют низкие показатели качества жизни – ниже, чем у студентов немедицинских специальностей и населения в целом. Эта закономерность наблюдалась среди студентов-медиков независимо от страны и континента проживания – в России [13], Англии [7], Аргентине [17], Бразилии [6], Германии [16], Иордании [14], Китае [20], Пакистане [8, 10], Турции [4], Южной Кореи [21] и др. Причем в наибольшей степени страдал психологический

Таблица 3. Сравнительный анализ качества жизни студентов-медиков, отличающихся по полу [$M \pm SD$; Me (IQR)], баллыTable 3. Quality of life of the medical university students by sex [$M \pm SD$; Me (IQR)], scores

Показатели / Scores	Юноши / Male (n = 432)	Девушки / Female (n = 1452)	P
Суммарный физический компонент / Physical Component Summary	76,9 ± 16,8 80,0 (66,0–90,0)	70,1 ± 18,9 72,0 (56,0–85,0)	0,001
Суммарный психологический компонент / Mental Component Summary	60,0 ± 22,0 61,0 (44,0–78,0)	50,7 ± 21,8 49,0 (35,0–68,0)	0,001

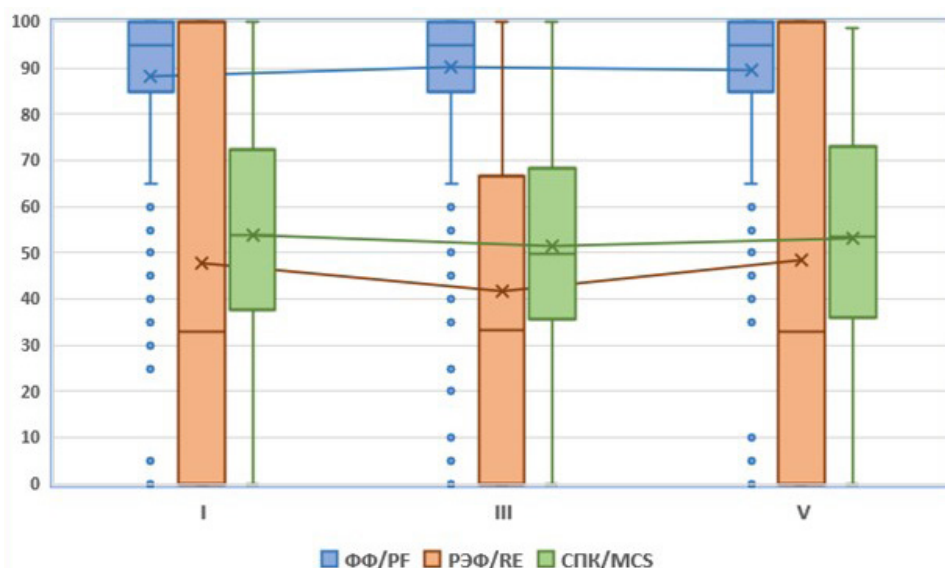


Рисунок. Показатели качества жизни студентов-медиков I, III и V курсов [M, Me (IQR), min, max] (баллы)
ФФ – физическое функционирование; РЭФ – ролевое эмоциональное функционирование;
СПК – суммарный психологический компонент

Figure. Health-related quality of life indicators of the first, third, and fifth-year medical university students [M, Me (IQR), min, max] (scores) (PF, Physical Functioning; RE, Role Emotional; MCS, Mental Component Summary)

компонент качества жизни, что согласуется с полученными нами данными.

Низкую самооценку психологического компонента качества жизни исследователи связывают со стрессами и большой психоэмоциональной нагрузкой студентов-медиков, что приводит к ухудшению их психического здоровья: нарушению сна, тревожности, депрессии, вплоть до синдрома «выгорания». В связи с этим актуальным представляется разработка мероприятий по профилактике психических расстройств среди студентов-медиков, их своевременного выявления и лечения [3, 5, 22, 23].

Результаты нашего исследования показали незначительное, но достоверное повышение среднего значения шкалы «физическое функционирование» от первого к пятому курсу обучения, а также самые низкие средние значения шкал «ролевое эмоциональное функционирование» и «суммарный психологический компонент» среди студентов третьего курса по сравнению со студентами первого и пятого курсов. Это может быть связано с особенностями и степенью учебной нагрузки на разных этапах обучения. Выделяют три этапа в обучении студентов-медиков – теоретический (первый и второй курсы), теоретико-практический (третий и четвертый курсы) и клинический (пятый и шестой курсы) [3, 15]. Улучшение физического компонента здоровья может быть связано с адаптацией студентов к учебному процессу, о чем говорит снижение уровня учебной нагрузки, по мнению студентов, к старшему курсу обучения. Ухудшение психологического компонента здоровья на третьем курсе обучения может характеризовать высокую степень учебной нагрузки на теоретико-практическом этапе обучения, и ее снижение на клиническом этапе обучения.

В отношении влияния курса обучения на показатели качества жизни студентов-медиков в литературе нет единого мнения. Так, в исследовании Т.С. Carli и соавт., проведенном среди 1470 студентов-медиков Медицинской школы университета Менас-Жерайса в Бразилии, отмечалось улучшение восприятия студентами качества жизни при переходе от базового (начального) к клиническому курсу обучения [15], в то время как в исследовании О.В. Лисовского и соавт., проведенном среди 1628 студентов Санкт-Петербургского педиатрического университета, самые высокие показатели качества жизни наблюдались среди студентов четвертого курса и снижались к шестому, выпускному курсу обучения [3]. В результате проведенного С.К. Martins и соавт. метаанализа по изучению качества жизни бразильских студентов-медиков было сделано заключение, что студенты доклинического цикла обучения демонстрируют более высокие показатели качества жизни в физической и психологической областях, чем студенты более старших, клинических курсов обучения [6]. Однако, по мнению авторов, эти результаты следует интерпретировать с осторожностью, учитывая ограничения исследований.

Нами выявлены гендерные различия в субъективной оценке качества жизни студентами – у девушек наблюдались более низкие показатели качества жизни по сравнению с юношами, что согласуется с результатами ряда исследований, проведенных как в нашей стране [3], так и за рубежом – в Бразилии [24] и Иордании [14]. Тем не менее ученые из Пакистана [8] и Ирана [25] не отмечали гендерных различий при оценке качества жизни студентов медицинского профиля. Можно предположить, что различия в самооценке качества жизни среди студентов-медиков, отличающихся по полу, могут быть связаны не только с объективными

показателями состояния здоровья и психологическими особенностями восприятия качества жизни юношами и девушками, но и положением женщин, а также культурными традициями, принятыми в каждой стране.

По результатам множественного регрессионного анализа нами выявлены медико-демографические предикторы физической и психологической составляющей качества жизни. В число предикторов физического компонента вошли стрессы, двигательная активность и соблюдение принципов ЗОЖ, жилищно-бытовые условия и материальная обеспеченность, совмещение учебы и работы, а также информированность по вопросам сохранения своего здоровья. Их вклад в дисперсию физического компонента качества жизни возрастал от первого к пятому курсу и достигал 25,1 %. Среди предикторов психологического компонента также стрессы, двигательная активность, жилищно-бытовые условия и материальная обеспеченность. Вклад этих предикторов в дисперсию психологического компонента был значительным на всех курсах обучения и достигал 38,8 %. При этом к старшему курсу обучения возрастала роль стрессов и материальной обеспеченности в субъективной оценке студентами психологической составляющей их качества жизни.

В сравнительном аспекте интерес представляет комплексное исследование, проведенное в Иране среди студентов-медиков Тебризского университета на разных стадиях их обучения [25]. К числу медико-демографических предикторов качества жизни были отнесены курс обучения, доход семьи, место проживания студента (в семье или в общежитии), совмещение работы и учебы, умеренная физическая активность и наличие депрессии у студента, что в целом совпадает с результатами нашего исследования. Совокупность этих факторов составила 63 % дисперсии качества жизни в модели множественной линейной регрессии. Наиболее высокие показатели качества жизни отмечались у студентов первого курса, они снижались по мере увеличения академической нагрузки при изучении фундаментальных наук и снова повышались на старших курсах при изучении клинических дисциплин и прохождении клинической практики, что авторы связывали с адаптацией студентов к клинической среде и большей независимостью. Однако данное исследование было проведено на ограниченной выборке – 186 студентов-медиков – и требует продолжения.

В нашем исследовании среди выявленных предикторов качества жизни стрессы и двигательная активность вносили наибольший вклад в значения изучаемых показателей качества жизни как физического, так и психологического компонентов. Ведущую роль этих факторов, оказывающих влияние на субъективное восприятие качества жизни студентами-медиками, отмечали также и другие российские и зарубежные авторы [1, 5, 7, 14, 16, 22, 23, 25–28].

Как показало наше исследование, информированность по вопросам сохранения здоровья является одним из предикторов физического компонента

качества жизни. Однако, несмотря на повышение самооценки студентами своей информированности по вопросам здоровья от первого к пятому курсу (средние значения от 4,2 до 4,4 балла), тем не менее она оставалась относительно низкой и не достигала максимального значения в 5 баллов. Информированность студентов-медиков по вопросам, имеющим отношение к культуре здоровья, во многом определяет отношение к своему здоровью и здоровью будущих пациентов [7, 29, 30], что следует учитывать при разработке программ профилактики.

Ограничения исследования. Исследование было ограничено субъективной оценкой студентами-медиками их качества жизни. Планируется исследование по анализу заболеваемости студентов за время их обучения в медицинском университете и сопоставление этих данных с показателями качества жизни.

Выводы

1. Выявлено, что у студентов-медиков страдает в первую очередь психологический компонент качества жизни, что связано с большими учебными и психоэмоциональными нагрузками, которые они испытывают во время учебы. Самооценка физического компонента имеет тенденцию к повышению от первого к пятому курсу обучения, в то время как самооценка психологического компонента снижается к третьему курсу обучения и повышается к пятому курсу, достигая уровня первого курса.

2. Выявлены гендерные различия в показателях качества жизни студентов-медиков. Юноши более высоко оценивают свое качество жизни.

3. Выявлены медико-демографические предикторы качества жизни. Среди основных предикторов качества жизни можно выделить стрессы, двигательную активность, жилищно-бытовые условия и материальную обеспеченность, которые имеют значение как для физического, так и для психологического компонентов качества жизни.

4. С учетом больших психоэмоциональных нагрузок, которые испытывают студенты-медики во время учебы, низкой самооценки психологического компонента качества жизни и ведущей роли стресса среди медико-демографических предикторов качества жизни особое внимание при разработке программ профилактики следует уделять современным методам и технологиям оценки, саморегуляции и коррекции психоэмоционального состояния студентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чукреев М.П., Калинин Д.Е. Анализ образа и качества жизни студентов-медиков // Профилактическая медицина. 2022. Т. 25. № 9. С. 77–84. doi: 10.17116/profmed2022509177
2. Кузнецов В.В., Крукович Е.В., Шуматов В.Б., Транковская Л.В., Крукович А.А. Анализ показателей качества жизни обучающихся по медицинским специальностям в вузах Сахалинской области // Тихоокеанский медицинский журнал. 2023. № 1. С. 94–99. doi: 10.34215/1609-1175-2023-1-94-99
3. Лисовский О.В., Грицинская В.Л., Лисица И.А., Господарец М.А., Близнякова Д.С., Макарова Т.Ю. Анализ качества жизни, связанного со здоровьем

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-50-59>

Оригинальная исследовательская статья

- обучающихся высшей школы медицинского профиля // Проблемы стандартизации в здравоохранении. 2024. № 7-8. С. 54-59. doi: 10.26347/1607-2502202407-08054-059
4. Karagöl A. Levels of depression, anxiety and quality of life of medical students. *Psychiatr Danub*. 2021;33(Suppl 4):732-737.
 5. Perotta B, Arantes-Costa FM, Enns SC, et al. Sleepiness, sleep deprivation, quality of life, mental symptoms and perception of academic environment in medical students. *BMC Med Educ*. 2021;21(1):111. doi: 10.1186/s12909-021-02544-8
 6. Martins CK, Cruz JC, Dellalibera-Joviliano R. Quality of life in Brazilian medical students: A systematic review and meta-analysis. *Trends Psychiatry Psychother*. 2024;46:e20220497. doi: 10.47626/2237-6089-2022-0497
 7. Taylor CE, Scott EJ, Owen K. Physical activity, burnout and quality of life in medical students: A systematic review. *Clin Teach*. 2022;19(6):e13525. doi: 10.1111/tct.13525
 8. Bilawal M, Shafique R, Ansari RS, et al. Exploring the Quality of Life (QOL) of medical students in Karachi, Pakistan. *BMC Med Educ*. 2024;24(1):495. doi: 10.1186/s12909-024-05481-4
 9. Гумбатова З.Ф., Аминова А.И., Ерюшова Т.Ю. и др. Взаимосвязь качества жизни и успеваемости студентов медицинского вуза // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 1. С. 77-82. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-1-77-82
 10. Shahzad S, Wajid G. Learning environment and its relationship with quality of life and burn-out among undergraduate medical students in Pakistan: A cross-sectional study. *BMJ Open*. 2024;14(8):e080440. doi: 10.1136/bmjopen-2023-080440
 11. Ginter PM, Kennedy R, Erwin PC, Reed W. The Okanagan Charter to improve wellbeing in higher education: Shifting the paradigm. *Front Educ*. 2024;9:1443937. doi: 10.3389/educ.2024.1443937
 12. Suárez-Reyes M, Van den Broucke S. Participation of university community members in Health Promoting University (HPU) initiatives. *Front Public Health*. 2023;11:1217177. doi: 10.3389/fpubh.2023.1217177
 13. Фертикова Т.Е., Комиссарова О.В., Сапина А.Е., Трофимова А.С. Оценка качества и образа жизни студентов медицинских и гуманитарных специальностей вузов г. Воронежа // Российский вестник гигиены. 2024. № 4. С. 46-52. doi: 10.24075/rbh.2024.117
 14. Almhawi KA, Kanaan SF, Khader Y, et al. Mental and physical health-related quality of life and their associated factors among students of a comprehensive allied health institution. *Work*. 2021;70(1):63-73. doi: 10.3233/WOR-205226
 15. Carli TC, Ribeiro AP, Oliveira GL. Perceived quality of life among Brazilian medical students: Initial findings from a follow-up study. *Psychol Health Med*. 2022;27(7):1544-1552. doi: 10.1080/13548506.2021.1898650
 16. Walnik L, Kück M, Tegtbu U, Fischer V, Kerling A. Physical fitness, nutrition and quality of life in German medical students. *Nutrients*. 2022;14(24):5375. doi: 10.3390/nu14245375
 17. Gobbi CA, Romero S, Regis MA, Díaz EMR, Allende GE, Pepe GA. Calidad de vida de estudiantes de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Córdoba [Quality of life of Medicine students of the National University of Córdoba, Argentina]. *Rev Fac Cien Med Univ Nac Cordoba*. 2023;80(3):205-220. (In Spanish.) doi: 10.31053/1853.0605.v80.n3.41147
 18. Рюк В.В., Абляева Л.В., Юсупова А.Р., Кузнецов А.С., Федосов М.А. Медико-социальные характеристики и качество жизни, связанное со здоровьем, студентов медицинского университета // Социология медицины. 2025. Т. 24. № 1. С. 56-66. doi: 10.17816/socm646486
 19. Наркевич А.Н., Виноградов К.А. Методы определения минимально необходимого объема выборки в медицинских исследованиях // Социальные аспекты здоровья населения [сетевое издание]. 2019. Т. 65. № 6. С. 10. URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1123/30/lang,ru/> doi: 10.21045/2071-5021-2019-65-6-10
 20. Chen J, Tuersun Y, Yang J, et al. Association of depression symptoms and sleep quality with state-trait anxiety in medical university students in Anhui Province, China: A mediation analysis. *BMC Med Educ*. 2022;22(1):627. doi: 10.1186/s12909-022-03683-2
 21. Seo EH, Kim SG, Lee JH, et al. Psychosocial factors influencing quality of life among medical students. *Psychiatry Invest*. 2023;20(11):1077-1085. doi: 10.30773/pi.2023.0161
 22. Juul MV, Fast AT, Lassen AT, Laugesen S. Anxiety among medical students and junior doctors in Denmark. *Dan Med J*. 2022;69(11):A03220162.
 23. Lee KP, Yeung N, Wong C, Yip B, Luk LHF, Wong S. Prevalence of medical students' burnout and its associated demographics and lifestyle factors in Hong Kong. *PLoS One*. 2020;15(7):e0235154. doi: 10.1371/journal.pone.0235154
 24. Solis AC, Lotufo-Neto F. Predictors of quality of life in Brazilian medical students: A systematic review and meta-analysis. *Braz J Psychiatry*. 2019;41(6):556-567. doi: 10.1590/1516-4446-2018-0116
 25. Ghassab-Abdollahi N, Shakouri SK, Aghdam AT, Farshbaf-Khalili A., Abdolalipour S, Farshbaf-Khalili A. Association of quality of life with physical activity, depression, and demographic characteristics and its predictors among medical students. *J Educ Health Promot*. 2020;9:147. doi: 10.4103/jehp.jehp_91_20
 26. Поляков Д.В., Щавинская Е.Д., Кулагин А.С. Показатели качества жизни, в том числе при недостаточной физической активности в молодой возрастной группе студентов медиков // Бюллетень медицинской науки. 2022. Т. 26. № 2. С. 52-60. doi: 10.31684/25418475_2022_2_52
 27. Boyd A, Mealand K, Briggs Early K, Oestreich E. Perceived stress, grit, and self-care behaviors in first-year medical students. *Am J Lifestyle Med*. 2022;17(6):803-812. doi: 10.1177/15598276221124576
 28. Donnelly S, Penny K, Kynn M. The effectiveness of physical activity interventions in improving higher education students' mental health: A systematic review. *Health Promot Int*. 2024;39(2):daae027. doi: 10.1093/heapro/daae027
 29. Бирюкова Н.В., Хальфин Р.А., Мадьянова В.В. Анализ влияния предпрофессионального образования на здоровье студентов медицинского вуза // Социология медицины. 2024. Т. 23. № 1. С. 23-32. doi: 10.17816/socm635441
 30. Шульц К.В., Поцелуев Н.Ю., Нагорняк А.С., Жукова О.В., Казизяева А.С. Гигиеническая оценка умственной работоспособности студентов медицинского вуза в зависимости от времени занятий и питьевого режима // Российский вестник гигиены. 2023. № 1. С. 9-12. doi: 10.24075/rbh.2023.062. EDN GJPYMU.

REFERENCES

1. Chukreev MP, Kalinkin DE. Analysis of lifestyle and quality of life of medical students. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2022;25(9):77-84. (In Russ.) doi: 10.17116/profmed2022509177
2. Kuznetsov VV, Krukovich EV, Shumatov VB, Trankovskaya LV, Krukovich AA. Analysis of quality of life

- indicators in medical students in the Sakhalin Oblast. *Tikhookeanskiy Meditsinskiy Zhurnal*. 2023;(1(91)):94-99. (In Russ.) doi: 10.34215/1609-1175-2023-1-94-99
3. Lisovsky OV, Gritsinskaya VL, Lisitsa IA, Gospodarets MA, Blizniyko DS, Makarova TYu. Analyzing the health-related quality of life of students of higher medical school. *Problemy Standartizatsii v Zdravookhraneni*. 2024;(7-8):54-59. (In Russ.) doi: 10.26347/1607-2502202407-08054-059
 4. Karagöl A. Levels of depression, anxiety and quality of life of medical students. *Psychiatr Danub*. 2021;33(Suppl 4):732-737.
 5. Perotta B, Arantes-Costa FM, Enns SC, et al. Sleepiness, sleep deprivation, quality of life, mental symptoms and perception of academic environment in medical students. *BMC Med Educ*. 2021;21(1):111. doi: 10.1186/s12909-021-02544-8
 6. Martins CK, Cruz JC, Dellalibera-Joviliano R. Quality of life in Brazilian medical students: A systematic review and meta-analysis. *Trends Psychiatry Psychother*. 2024;46:e20220497. doi: 10.47626/2237-6089-2022-0497
 7. Taylor CE, Scott EJ, Owen K. Physical activity, burnout and quality of life in medical students: A systematic review. *Clin Teach*. 2022;19(6):e13525. doi: 10.1111/tct.13525
 8. Bilawal M, Shafique R, Ansari RS, et al. Exploring the Quality of Life (QOL) of medical students in Karachi, Pakistan. *BMC Med Educ*. 2024;24(1):495. doi: 10.1186/s12909-024-05481-4
 9. Gumbatova ZF, Aminova AI, Eryushova TYu, et al. The relationship between the quality of life of medical students and their academic performance. *Gigiena i Sanitariya*. 2022;101(1):77-82. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-1-77-82
 10. Shahzad S, Wajid G. Learning environment and its relationship with quality of life and burn-out among undergraduate medical students in Pakistan: A cross-sectional study. *BMJ Open*. 2024;14(8):e080440. doi: 10.1136/bmjopen-2023-080440
 11. Ginter PM, Kennedy R, Erwin PC, Reed W. The Okanagan Charter to improve wellbeing in higher education: Shifting the paradigm. *Front Educ*. 2024;9:1443937. doi: 10.3389/educ.2024.1443937
 12. Suárez-Reyes M, Van den Broucke S. Participation of university community members in Health Promoting University (HPU) initiatives. *Front Public Health*. 2023;11:1217177. doi: 10.3389/fpubh.2023.1217177
 13. Fertikova TE, Komissarova OV, Sapina AE, Trofimova AS. Quality of life and lifestyle assessment in students of medical and humanitarian faculties of Voronezh Universities. *Rossiyskiy Vestnik Gigieny*. 2024;(4):46-52. (In Russ.) doi: 10.24075/rbh.2024.117
 14. Almhdawi KA, Kanaan SF, Khader Y, et al. Mental and physical health-related quality of life and their associated factors among students of a comprehensive allied health institution. *Work*. 2021;70(1):63-73. doi: 10.3233/WOR-205226
 15. Carli TC, Ribeiro AP, Oliveira GL. Perceived quality of life among Brazilian medical students: Initial findings from a follow-up study. *Psychol Health Med*. 2022;27(7):1544-1552. doi: 10.1080/13548506.2021.1898650
 16. Walnik L, Kück M, Tegtbur U, Fischer V, Kerling A. Physical fitness, nutrition and quality of life in German medical students. *Nutrients*. 2022;14(24):5375. doi: 10.3390/nu14245375
 17. Gobbi CA, Romero S, Regis MA, Díaz EMR, Allende GE, Pepe GA. Calidad de vida de estudiantes de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Córdoba [Quality of life of Medicine students of the National University of Córdoba, Argentina]. *Rev Fac Cien Med Univ Nac Cordoba*. 2023;80(3):205-220. (In Spanish.) doi: 10.31053/1853.0605.v80.n3.41147
 18. Royuk VV, Abolyan LV, Yusupova AR, Kuznetsov AS, Fedosov MA. Medical and social characteristics and health-related quality of life of medical university students. *Sotsiologiya Meditsiny*. 2025;24(1):56-66. (In Russ.) doi: 10.17816/socm646486
 19. Narkevich AN, Vinogradov KA. Methods for determining the minimum required sample size in medical research. *Sotsial'nye Aspekty Zdorov'ya Naseleniya*. 2019;65(6):10. (In Russ.) doi: 10.21045/2071-5021-2019-65-6-10
 20. Chen J, Tuersun Y, Yang J, et al. Association of depression symptoms and sleep quality with state-trait anxiety in medical university students in Anhui Province, China: A mediation analysis. *BMC Med Educ*. 2022;22(1):627. doi: 10.1186/s12909-022-03683-2
 21. Seo EH, Kim SG, Lee JH, et al. Psychosocial factors influencing quality of life among medical students. *Psychiatry Investig*. 2023;20(11):1077-1085. doi: 10.30773/pi.2023.0161
 22. Juul MV, Fast AT, Lassen AT, Laugesen S. Anxiety among medical students and junior doctors in Denmark. *Dan Med J*. 2022;69(11):A03220162.
 23. Lee KP, Yeung N, Wong C, Yip B, Luk LHF, Wong S. Prevalence of medical students' burnout and its associated demographics and lifestyle factors in Hong Kong. *PLoS One*. 2020;15(7):e0235154. doi: 10.1371/journal.pone.0235154
 24. Solis AC, Lotufo-Neto F. Predictors of quality of life in Brazilian medical students: A systematic review and meta-analysis. *Braz J Psychiatry*. 2019;41(6):556-567. doi: 10.1590/1516-4446-2018-0116
 25. Ghassab-Abdollahi N, Shakouri SK, Aghdam AT, Farshbaf-Khalili A., Abdolalipour S, Farshbaf-Khalili A. Association of quality of life with physical activity, depression, and demographic characteristics and its predictors among medical students. *J Educ Health Promot*. 2020;9:147. doi: 10.4103/jehp.jehp_91_20
 26. Polyakov DV, Shchavinskaya ED, Kulagin AS. Quality of life indicators in young age group of medical students including responders with insufficient physical activity. *Byulleten' Meditsinskoy Nauki*. 2022;(2(26)):52-60. (In Russ.) doi: 10.31684/25418475_2022_2_52
 27. Boyd A, Mealand K, Briggs Early K, Oestreich E. Perceived stress, grit, and self-care behaviors in first-year medical students. *Am J Lifestyle Med*. 2022;17(6):803-812. doi: 10.1177/15598276221124576
 28. Donnelly S, Penny K, Kynn M. The effectiveness of physical activity interventions in improving higher education students' mental health: A systematic review. *Health Promot Int*. 2024;39(2):daae027. doi: 10.1093/heapro/daae027
 29. Biryukova NV, Khalifin RA, Madyanova VV. Analysis of the impact of pre-professional education on the health of medical students. *Sotsiologiya Meditsiny*. 2024;23(1):23-32. (In Russ.) doi: 10.17816/socm635441
 30. Schulz KV, Potselyev NYu, Nagornyak AS, Zhukova OV, Kazizaeva AS. Hygienic assessment of the medical students' mental performance in relation to class time and drinking regime. *Rossiyskiy Vestnik Gigieny*. 2023;(1):9-12. doi: 10.24075/rbh.2023.062

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-50-59>

Оригинальная исследовательская статья

Сведения об авторах:

✉ **Абольян** Любовь Викторовна – д.м.н., профессор кафедры общественного здоровья и здравоохранения им. Н.А. Семашко Института общественного здоровья им. Ф.Ф. Эрисмана Сеченовского университета; e-mail: abolyan_l_v@staff.sechenov.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7644-8771>.

Юсупова Азалия Ранитовна – аспирант кафедры общественного здоровья и здравоохранения им. Н.А. Семашко Института общественного здоровья им. Ф.Ф. Эрисмана Сеченовского университета; e-mail: azaliya.yusupova.00@inbox.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3433-3423>.

Роюк Валерий Валериевич – д.м.н., проректор по молодежной и воспитательной работе, директор Института лидерства и управления здравоохранением Сеченовского университета; e-mail: royuk_v_v@staff.sechenov.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4966-3767>.

Сыркин Леонид Давидович – д.психол.н., профессор кафедры педагогики и медицинской психологии Института психолого-социальной работы Сеченовского университета; e-mail: syrkin_l_d@staff.sechenov.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8279-7911>.

Судьенков Игорь Вячеславович – соискатель ученой степени канд. психол. наук, Университет мировых цивилизаций имени В.В. Жириновского; e-mail: sudenkovulsk@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2292-512X>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Абольян Л.В., Юсупова А.Р., Роюк В.В., Сыркин Л.Д.*; сбор данных: *Юсупова А.Р., Абольян Л.В.*; анализ и интерпретация результатов: *Абольян Л.В., Юсупова А.Р., Роюк В.В., Сыркин Л.Д., Судьенков И.В.*; обзор литературы, подготовка рукописи: *Абольян Л.В., Юсупова А.Р.* Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено на заседании Локального этического комитета ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет) (выписка из протокола № 28-24 от 21.11.2024).

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 13.09.25 / Принята к публикации: 10.02.26 / Опубликовано: 27.02.26

Author information:

✉ Liubov V. **Abolyan**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Department of Public Health and Healthcare named after N.A. Semashko, Institute of Public Health names after F.F. Erisman, Sechenov University; e-mail: abolyan_l_v@staff.sechenov.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7644-8771>.

Azaliya R. **Yusupova**, Postgraduate student, Department of Public Health and Healthcare named after N.A. Semashko, Institute of Public Health names after F.F. Erisman, Sechenov University; e-mail: azaliya.yusupova.00@inbox.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3433-3423>.

Valeriy V. **Royuk**, Dr. Sci. (Med.), Vice-Rector for Youth and Educational Work, Director of the Institute of Leadership and Health Management, Sechenov University; royuk_v_v@staff.sechenov.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4966-3767>.

Leonid D. **Syrkin**, Dr. Sci. (Psychol.), Professor, Department of Pedagogy and Medical Psychology, Institute of Psychological and Social Work, Sechenov University; e-mail: syrkin_l_d@staff.sechenov.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8279-7911>.

Igor V. **Sudenkov**, Postgraduate student (Psychol.), Zhirinovsky University of World Civilizations; e-mail: sudenkovulsk@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2292-512X>.

Author contributions: study conception and design: *Abolyan L.V., Yusupova A.R., Royuk V.V., Syrkin L.D.*; data collection: *Yusupova A.R., Abolyan L.V.*; analysis and interpretation of results: *all authors*; bibliography compilation and referencing, draft manuscript preparation: *Abolyan L.V., Yusupova A.R.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Study approval was provided by the Local Ethics Committee of Sechenov University (protocol No. 28-24 of November 21, 2024).

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

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: September 13, 2025 / Accepted: February 10, 2026 / Published: February 27, 2026



Basic Sanitation and Personal Hygiene: Risk Factors for Stunting in North Sumatra Coastal Areas

Sri M. Indirawati, Umi Salmah, Taufik Ashar, Arifa M. Panjaitan, Risanti F.R. Situmorang, Annisa R. Lestari

Faculty of Public Health, Universitas Sumatera Utara, 21 Universitas Street, Medan, 20155, Republic of Indonesia

Summary

Background: The reduction of stunting is a global public health priority under target of the United Nations Sustainable Development Goals and a major public health challenge in Indonesia, with a national prevalence of 21.6 % in 2022, and 13.9 % in North Sumatra.

Objective: To examine basic sanitation and personal hygiene as risk factors associated with stunting among toddlers in coastal areas of North Sumatra.

Materials and Methods: This cross-sectional quantitative study was conducted in Paluh Sibaji Village, Deli Serdang Regency, and involved 141 mothers of toddlers selected by simple random sampling from a total population of 375. Data collection involved validated questionnaires, observation sheets, and inspections of basic sanitation and personal hygiene, with a focus on clean water availability (quantity, quality, continuity, and affordability). Stunting was determined using anthropometric measurements by the WHO Z-score standards.

Results: The prevalence of stunting was 16.3 %. The analysis of stunting risk factors showed a significant relationship between clean water continuity (OR 3.365, 95 % CI: 1.154–9.816, $p = 0.026$), latrine ownership (OR 4.272, 95 % CI: 1.240–14.720, $p = 0.021$), ownership of wastewater disposal facilities (OR 7.301, 95 % CI: 2.233–23.872, $p = 0.001$), the practice of washing hands by cleaning between the fingers with soap and running water (OR 5.772, 95 % CI: 1.830–18.205, $p = 0.003$) and stunting.

Conclusion: Poor hygiene practices, inadequate access to drinking water, and inadequate ownership of toilets, wastewater disposal facilities, and waste management can increase the risk of stunting among toddlers in Paluh Sibaji Village. The absence of wastewater disposal facilities emerged as the strongest risk factor, thus highlighting the importance of improving sanitation systems as part of integrated community-based stunting prevention strategies.

Keywords: basic sanitation, hygiene, stunting.

Cite as: Indirawati SM, Salmah U, Ashar T, Panjaitan AM, Situmorang RFR, Lestari AR. Basic sanitation and personal hygiene: Risk factors for stunting in North Sumatra coastal areas. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2026;34(2):60–69. (In English) doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-60-69

Базовые санитарные условия и личная гигиена: факторы риска задержки роста в прибрежных районах Северной Суматры

Ш.М. Индиравати, У. Салмах, Т. Ашар, А.М. Панджаитан, Р.Ф.Р. Ситуморанг, А.Р. Лестари

Факультет общественного здравоохранения Университета Северной Суматры,
ул. Университетская, д. 21, Медан, 20155, Республика Индонезия

Резюме

Введение. Сокращение числа случаев задержки роста у детей является глобальным приоритетом общественного здравоохранения в рамках Целей устойчивого развития ООН и серьезным вызовом в Индонезии, где в 2022 году показатель распространенности составил 21,6 %, а в Северной Суматре – 13,9 %.

Цель исследования: изучить базовые санитарные условия и личную гигиену как факторы риска задержки роста детей младшего возраста в прибрежных районах Северной Суматры.

Материалы и методы. Данное поперечное количественное исследование проводилось в деревне Палух Сибаджи округа Делисерданг с участием случайно выбранной 141 из 375 местных женщин, имеющих детей младшего возраста. Для сбора данных использовались валидированные анкеты, листы наблюдений и осмотр основных санитарных условий и личной гигиены, с акцентом на доступность чистой воды (ее количество, качество, непрерывность и доступность по цене). Задержка роста определялась с помощью антропометрических измерений по стандартам Z-показателя ВОЗ.

Результаты. Распространенность задержки роста у детей составила 16,3 %. Анализ факторов риска выявил значимую зависимость между непрерывностью водоснабжения (ОШ 3,365, 95 % ДИ: 1,154–9,816, $p = 0,026$), наличием у семьи благоустроенного туалета (ОШ 4,272, 95 % ДИ: 1,240–14,720, $p = 0,021$), наличием очистных сооружений для сточных вод (ОШ 7,301, 95 % ДИ: 2,233–23,872, $p = 0,001$), тщательным мытьем рук между пальцами с мылом и проточной водой (ОШ 5,772, 95 % ДИ: 1,830–18,205, $p = 0,003$) и задержкой роста.

Заключение. Нарушение правил личной гигиены, ограниченный доступ к питьевой воде и отсутствие благоустроенных туалетов, очистных сооружений и управления отходами могут повысить риск задержки роста у детей младшего возраста в деревне Палух Сибаджи. Отсутствие очистных сооружений оказалось наиболее значимым фактором риска, что свидетельствует о важности улучшения санитарных условий в рамках комплексных стратегий профилактики задержки роста на местном уровне.

Ключевые слова: базовые санитарные условия, гигиена, задержка роста.

Для цитирования: Индиравати Ш.М., Салмах У., Ашар Т., Панджаитан А.М., Ситуморанг Р.Ф.Р., Лестари А.Р. Базовые санитарные условия и личная гигиена: факторы риска задержки роста в прибрежных районах Северной Суматры // Здоровье населения и среда обитания. 2026. Т. 34. № 2. С. 60–69. doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-60-69

Introduction

Stunting is a health problem characterized by children who are short and not appropriate for their age [1]. Failure to thrive in toddlers results from inadequate nutritional intake and recurrent infections, particularly during the first 1,000 days of life, from fetal formation to 24 months of age [2]. Toddlers are classified as stunted if their z-score value is less than -2 SD/standard deviation (stunted) and less than -3 SD (severely stunted) [3]. Stunting is relevant due to its potential to slow child growth, reduce thinking abilities, increase susceptibility to non-communicable diseases, and trigger low birth weight babies [4, 5]. The World Health Organization (WHO) stated that the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) aim to eliminate all forms of malnutrition by 2030, including reducing stunting and wasting, and reducing the number of stunted children under the age of 5 to 40 percent in 2025 [6].

WHO reports that 22.9 percent, or 154.8 million, toddlers worldwide suffer from stunting, and of them, 87 million stunted toddlers live in Asia [7]. The Indonesian Nutrition Status Study records that the prevalence of stunted toddlers in Indonesia in 2022 will be 21.6 percent, and the prevalence of stunting under five in North Sumatra Province will be 15.8 percent [8]. Deli Serdang Regency, which comprises 22 sub-districts and 34 health centers dispersed throughout each sub-district, is one of the locations influencing the stunting rate. Based on the 2022 Indonesian Nutrition Status Study findings, the prevalence of stunting in the Deli Serdang district was 13.9 percent, an increase of 1.4 percent from 2021. Since 2020, it has been one of the 15 regencies and cities the government has prioritized for combating stunting.

Deli Serdang Regency has 22 sub-districts that are priority loci for stunting. One of these is the Pantai Labu Sub-district, located in the coastal area and ranking 9th out of 10 sub-districts with the highest prevalence of stunting in Deli Serdang Regency. Based on data from the Pantai Labu sub-district health center, the initial survey recorded 60 cases of stunting in the Pantai Labu sub-district spread across several villages, including Paluh Sibaji Village, which had 10 cases of stunting.

Sanitation is a public health initiative that addresses environmental factors affecting health. Poor sanitation can spread infectious diseases such as diarrhea, cholera, dysentery, typhoid, intestinal worm infections, and polio. It also increases the risk of stunting. Therefore, sanitation is crucial in preventing these diseases by breaking the chain of transmission at its source [9, 10]. Improving sanitation is an effective way to reduce the incidence of stunting; as environmental quality improves, stunting will decrease [11]. Environmental sanitation and poverty in developing countries are increasing the risk of stunting in children. Children without basic sanitation are at higher risk of stunting than those with adequate sanitation [12, 13]. Infection in toddlers can obstruct their bodies' ability to absorb nutrients during digestion, leading to weight loss and potential stunting if the condition persists without sufficient intake for the healing process [14, 15]. Based on this background, this research **aims** to analyze

risk factors of stunting, including basic sanitation and personal hygiene, as well as their impact on the prevalence of stunting.

Materials and Methods

We conducted a cross-sectional quantitative survey in Paluh Sibaji Village, Deli Serdang Regency. The subjects in this study were mothers with toddlers aged 0 to 60 months. The total population consisted of 375 mothers with toddlers, of which 141 mothers were selected using simple random sampling.

Data collection was carried out through the Ceting Card application, a researcher-developed digital survey tool designed to assess environmental risk factors for stunting. The application consisted of structured questionnaires and observation checklists capturing household identity, environmental health conditions, and the geographical location of areas with potential stunting risk. The questionnaires were used to measure maternal age, education, number of children, household income, and the age of toddlers. In contrast, observations were used to assess the quality of basic sanitation in the household. Data collection on the length and height of toddlers was conducted in accordance with the Republic of Indonesia Minister of Health Decree number HK.01.07/Menkes/51/2022 concerning Standard Anthropometric Tools and Early Detection Tools for Child Development, namely the length of toddlers aged 0–24 months or who were not yet standing was measured using an infantometer, while for toddlers above 24 months, height was measured using a microtoise. The infantometer and microtoise used had an accuracy of 0.1 cm and comply with the Indonesian National Standard. Stunting was determined according to the z-scores of Length-for-Age (LAZ) and Height-for-Age (HAZ), with values of -2 SD and -3 SD, respectively, as per the Child Growth Standards from the World Health Organization. Household income was defined as the total monthly income of all family members and was categorized into two, below and above the regional minimum wage of Deli Serdang Regency (IDR 3,400,015.)

The quality of drinking water and sanitation is based on the UNICEF and WHO joint monitoring program [16]. Clean water as a source of raw drinking water used meets the requirements of continuity, affordability, and physical quality requirements based on Regulation of the Minister of Health of the Republic of Indonesia No. 2 of 2023 [17]. Clean water quantity was categorized as adequate or inadequate, water quantity was considered adequate if household water availability met at least 10 m³ per capita per month or 60 liters/person/day, in accordance with Regulation of the Minister of Public Works and Public Housing Number 29/PRT/M/2018 concerning Technical Standards for Minimum Service Standards for Public Works and Public Housing. Continuity of clean water was categorized as continuous or not continuous, continuity was defined as an uninterrupted supply of clean water available for 24 hours a day, in accordance with Government Regulation of the Republic of Indonesia No. 16 of 2005 on the Development of Drinking Water Supply Systems. Affordability means drinking water tariffs do not exceed 4 % of the monthly income. Clean

water is appropriate if all four requirements are met. Adequate sanitation was defined by the presence of a household latrine with a septic tank and a distance of 10 m between the drinking water source and the holding hole, and flowing wastewater, and waste disposal facilities.

A safe source of clean household water comes from protected sources, namely, dug wells, drilled wells, and municipal waterworks. Clean water is categorized as having been processed if the household filters it, bleaches it, or disinfects it with sunlight.

Data were analyzed using SPSS version 25. This study examined the relationship between sanitation and personal hygiene with stunting in a household, using a simple logistic regression statistical test for bivariate analysis; then, if the p -value was ≤ 0.25 , a multivariate analysis was carried out using a multiple logistic regression statistical test. Variables were analyzed using the enter method, and variables that had a p -value < 0.05 in the multivariate analysis were retained and considered statistically significant.

Results

The study included 141 mothers with children aged 0–60 months. All participant gave informed consent and provided information related to the characteristics of the mother and children, personal hygiene, and household sanitation conditions.

Characteristics of the sample

Table 1 presents socio-economic data of the mothers and toddlers aged 0–60 months in Paluh Sibaji Village. The majority of mothers got married at < 20 years (61.0 %), with 42.6 % having elementary education. More than half of the toddlers were aged ≤ 24 months (55.3 %), and the majority of households had a monthly income below the regional minimum wage of Deli Serdang District (92.9 %).

Clean water sources from Municipal Waterworks (PDAM) are the most accessible (61.0 %). However, only 32.6 % have access to filtered clean water, and 72.3 % treat drinking water before consumption. Most household water sources meet clean water standards in terms of quality (61.0 %), quantity (98.6 %), affordability (86.5 %), and continuity (52.5 %). Toilet ownership is high (80.9 %), but only 48.2 % meet the qualification criteria. Few coastal communities have wastewater and rubbish disposal facilities. Most mothers have access to proper hygiene, including running water and soap for washing.

Risk factors of stunting

Table 3 shows the results of bivariate analysis regarding the relationship between maternal and toddler characteristics, household hygiene and sanitation, and prevalence of stunting. Based on the results of the bivariate analysis, stunting was more prevalent in female toddlers (19.3 %). The majority of stunted toddlers were found to be from mothers who got married at young age (< 20 years) (15.1 %), had a basic education level (20.0 %), and had a monthly household income below the minimum wage of Deli Serdang Regency (16.8 %). Most stunted toddlers lived in households that did not have adequate toilets (19.2 %).

Three variables were related to stunting, namely, continuity of clean water, ownership of a wastewater disposal system, and handwashing between the fingers. Toddlers living in households without continuous clean water supply were three times more likely to be affected by stunting than toddlers whose households fulfilled the clean water continuity aspect (AOR 3.003, 95 % CI: 1.150–7.842, $p = 0.025$). Toddlers from households without wastewater disposal system were four times more likely to be affected by stunting than toddlers living in households with it (AOR 4.274,

Table 1. Socio-economic characteristic of the mothers and toddlers

Таблица 1. Социально-экономические характеристики матерей и детей младшего возраста

Variable / Переменная	n	%
Maternal age at marriage, years / Возраст матери на момент замужества, лет		
< 20	86	61.0
20–35	55	39.0
Maternal education / Образование матери		
Elementary / Начальное	60	42.6
Secondary / Среднее	72	51.1
Higher / Высшее	9	6.4
Number of children in the family / Количество детей в семье		
≤ 2	83	58.9
3–6	58	41.1
Toddler's sex / Пол ребенка		
Male / Мужской	84	59.6
Female / Женский	57	40.4
Toddler's age, months / Возраст ребенка, месяцев		
≤ 24	78	55,3
> 24	63	44,7
Monthly household income (compared to the Deli Serdang Minimum Wages (Rp. 3,400,015)) / Ежемесячный доход домохозяйства (по сравнению с минимальной заработной платой в Делисерданге (3 400 015 рупий))		
Below / Ниже	131	92.9
Above / Выше	10	7.1

Table 2. Basic sanitation and hygiene of the mothers and toddlers

Таблица 2. Базовые санитарные условия и личная гигиена матерей и детей младшего возраста

Variable / Переменная	n	%
Clean water source / Источник чистой воды		
Dug well / Колодец	22	15,6
Borehole / Скважина	33	23,4
PDAM (Municipal Waterworks) / Муниципальная система водоснабжения	86	61,0
Clean water quality / Качество чистой воды		
Inappropriate / Ненадлежащее	55	39,0
Appropriate / Надлежащее	86	61,0
Clean water quantity / Количество чистой воды		
Inadequate / Недостаточное	2	1,4
Adequate / Достаточное	139	98,6
Affordability of clean water / Доступность чистой воды		
No / Нет	19	13,5
Yes / Да	122	86,5
Continuity of clean water / Непрерывность водоснабжения		
No / Нет	67	47,5
Yes / Да	74	52,5
Filtration of clean water / Фильтрация воды		
No / Нет	95	67,4
Yes / Да	46	32,6
Treatment of drinking water / Очистка питьевой воды		
No / Нет	39	27,7
Yes / Да	102	72,3
Toilet ownership / Наличие унитаза		
No / Нет	27	19,1
Yes / Да	114	80,9
Septic tank availability / Наличие септического резервуара		
No / Нет	36	25,5
Yes / Да	105	74,5
Healthy latrine / Благоустроенный туалет (наличие унитаза и раковины для мытья рук)		
No / Нет	73	51,8
Yes / Да	68	48,2
Distance between drinking water source and septic tank ≥ 10 m / Расстояние между источником питьевой воды и септическим резервуаром ≥ 10 м		
No / Нет	50	35,5
Yes / Да	91	64,5
Wastewater disposal system availability / Наличие системы водоотведения		
No / Нет	28	19,9
Yes / Да	113	80,1
Waste disposal facilities availability / Наличие объектов для утилизации отходов		
No / Нет	114	80,9
Yes / Да	27	19,1
Handwashing with soap / Мытье рук с мылом		
No / Нет	45	31,9
Yes / Да	96	68,1
Handwashing between fingers / Мытье рук между пальцами		
No / Нет	66	46,8
Yes / Да	75	53,2

95 % CI: 1.6288–11.218, $p = 0.003$). Apart from that, mothers who practiced washing their hands with soap without washing between their fingers had five times the risk of giving birth to stunted toddlers compared to mothers who washed between their fingers (AOR 5.250, 95 % CI: 1.825–15.104, $p = 0.002$).

Table 4 shows the results of a multivariate analysis. Multiple logistic regression was used for it with independent variables selected from the bivariate

analysis results based on a p-value of less than 0.25. The results showed that four variables related to stunting were identified, namely continuity of clean water, toilet ownership, wastewater disposal system availability, and handwashing between fingers ($p < 0.05$).

Discussion

The analysis carried out to examine the risk factors of stunting in Paluh Sibaji Village found the possibility of stunting occurring in households that did not have

Table 3. Bivariate analysis of risk factors of stunting in toddlers aged 0–60 months in Paluh Sibaji Village
Таблица 3. Двумерный анализ факторов риска задержки роста у детей в возрасте от 0 до 60 месяцев в деревне Палух Сибаджи

Variable / Переменная	Stunted / С задержкой роста n (%)	Not stunted / Без задержки роста n (%)	Unadjusted (bivariate) / Нескорректированные (двумерные)		
			OR / ОШ	95 % CI / ДИ	p
Maternal age at marriage, years / Возраст матери на момент замужества, лет					
< 20	13 (15.1)	73 (84.9)	0.801	(0.324–1.979)	0.631
20–35	10 (18.2)	45 (81.8)			
Maternal education					
Elementary / Начальное	12 (20.0)	48 (80.0)	1.143	(0.210–6.219)	0.877
Secondary / Среднее	9 (12.5)	63 (87.5)	2.000	(0.358–11.166)	0.430
Higher / Высшее	2 (22.2)	7 (77.8)			0.457
Toddler's sex / Пол ребенка					
Male / Мужской	12 (14.3)	72 (85.7)	0.697	(0.697–1.711)	0.431
Female / Женский	11 (19.3)	46 (80.7)			
Number of children in the family / Количество детей в семье					
≤ 2	12 (14.5)	71 (85.5)	0.722	(0.294–1.771)	0.477
3–6	11 (19.0)	47 (81.0)			
Monthly household income (compared to the Deli Serdang Minimum Wages (Rp. 3,400,015)) / Ежемесячный доход домохозяйства (по сравнению с минимальной заработной платой в Делисерданге (3 400 015 рупий))					
Below / Ниже	22 (16.8)	109 (83.2)	1.817	(0.219–15.076)	0.580
Above / Выше	1 (10.0)	9 (90.0)			
Clean water source / Источник чистой воды					
Dug well / Колодец	4 (18.2)	18 (81.8)	0.660	(0.188–2.314)	0.516
Borehole / Скважина	8 (24.2)	25 (75.8)	0.458	(0.166–1.267)	0.133
PDAM (Municipal Waterworks) / Муниципальная система водоснабжения	11 (12.8)	75 (87.2)			0.317
Clean water quality / Качество чистой воды					
Inappropriate / Ненадлежащее	11 (20.0)	44 (80.0)	1.542	(0.627–3.789)	0.345
Appropriate / Надлежащее	12 (14.0)	74 (86.0)			
Clean water quantity / Количество чистой воды					
Inadequate / Недостаточное	0 (0.0)	2 (100.0)	1.198	(1.113–1.290)	1.000
Adequate / Достаточное	23 (16.5)	116 (83.5)			
Affordability of clean water / Доступность чистой воды					
No / Нет	4 (21.1)	15 (78.9)	1.446	(0.433–4.832)	0.549
Yes / Да	19 (15.6)	103 (84.4)			
Continuity of clean water / Непрерывность водоснабжения					
No / Нет	16 (23.9)	51 (76.1)	3.003	(1.150–7.842)	0.025
Yes / Да	7 (9.5)	67 (90.5)			
Filtration of clean water / Фильтрация воды					
No / Нет	16 (16.8)	79 (83.2)	2.361	(0.936–5.952)	0.069
Yes / Да	7 (15.2)	39 (84.8)			
Treatment of drinking water / Очистка питьевой воды					
No / Нет	10 (25.6)	29 (74.4)	1.128	(0.429–2.969)	0.807
Yes / Да	13 (12.7)	89 (87.3)			
Toilet ownership / Наличие унитаза					
No / Нет	7 (25.9)	20 (74.1)	2.144	(0.781–5.886)	0.139
Yes / Да	16 (14.0)	98 (86.0)			
Septic tank availability / Наличие септического резервуара					
No / Нет	8 (22.2)	28 (77.8)	1.714	(0.658–4.465)	0.270
Yes / Да	15 (14.3)	90 (85.7)			
Healthy latrines / Благоустроенный туалет					
No / Нет	14 (19.2)	59 (80.8)	1.556	(0.625–3.872)	0.342
Yes / Да	9 (13.2)	59 (86.8)			
Distance between drinking water source and septic tank ≥ 10 m / Расстояние между источником питьевой воды и септическим резервуаром ≥ 10 м					
No / Нет	10 (20.0)	40 (80.0)	1.500	(0.605–3.720)	0.382
Yes / Да	13 (14.3)	78 (85.7)			
Wastewater disposal system availability / Наличие системы водоотведения					
No / Нет	13 (11.5)	100 (88.5)	4.274	(1.628–11.218)	0.003
Yes / Да	10 (35.7)	18 (64.3)			
Waste disposal facilities availability / Наличие объектов для утилизации отходов					
No / Нет	18 (15.8)	96 (84.2)	0.825	(0.276–2.463)	0.730
Yes / Да	5 (18.5)	22 (81.5)			
Handwashing with soap / Мытье рук с мылом					
No / Нет	5 (11.1)	40 (88.9)	0.542	(0.187–1.566)	0.258
Yes / Да	18 (18.8)	78 (81.3)			
Handwashing between fingers / Мытье рук между пальцами					
No / Нет	18 (27.3)	48 (72.7)	5.250	(1.825–15.104)	0.002
Yes / Да	5 (6.7)	70 (93.3)			

Table 4. Multivariate analysis of risk factors of stunting in toddlers aged 0–60 months in Paluh Sibaji Village
Таблица 4. Многомерный анализ факторов риска задержки роста у детей в возрасте от 0 до 60 месяцев в деревне Палух Сибаджи

Factors / Факторы	Stunted / С задержкой роста <i>n</i> (%)	Not stunted / Без задержки роста <i>n</i> (%)	Adjusted (multivariate) / Скорректированные (многомерные)		
			OR / ОШ	95 % CI / ДИ	<i>p</i>
Continuity of clean water / Непрерывность водоснабжения					
No / Нет	16 (23.9)	51 (76.1)	3.365	(1.154–9.816)	0.026
Yes / Да	7 (9.5)	67 (90.5)			
Toilet ownership / Наличие унитаза					
No / Нет	7 (25.9)	20 (74.1)	4.272	(1.240–14.720)	0.021
Yes / Да	16 (14.0)	98 (86.0)			
Wastewater disposal system availability / Наличие системы водоотведения					
No / Нет	13 (11.5)	100 (88.5)	7.301	(2.233–23.872)	0.001
Yes / Да	10 (35.7)	18 (64.3)			
Handwashing beetween fingers / Мытье рук между пальцами					
No / Нет	18 (27.3)	48 (72.7)	5.772	(1.830–18.205)	0.003
Yes / Да	5 (6.7)	70 (93.3)			

access to clean water in the continuity aspect. The term ‘continuity’ means that clean water must be available 24 hours a day during the planning period or whenever needed, ensuring that water needs are met. The principle of securing clean water has yet to be fulfilled in four key aspects: quality, quantity, affordability, and continuity. The continuity aspect of 67 households (47.5 %) still needs to be attended.

This interruption in the water supply results in a limited amount of water for daily use, particularly for personal hygiene needs. Communities collect water to store it, which has the potential to be contaminated by bacteria [18]. Proper water storage is crucial to prevent contamination with pathogens, as contaminated water can lead to waterborne diseases [19–21]. Toddlers lacking adequate access to clean water are at risk of contracting infectious diseases, which can increase the risk of stunting, especially in children living in poverty [22]. Therefore, improving access to clean water and sanitation is essential in achieving Goal 6, Clean Water and Sanitation, of U.N. Sustainable Development Goals (SDGs) [23].

Based on the results of the multivariate analysis, having a latrine was significantly related to stunting ($p = 0.021$). Latrine ownership affects the prevalence of stunting, with mothers with toddlers without toilets potentially experiencing infection from vectors or *E. coli* contamination due to open defecation on the beach.

According to the Minister of Health of the Republic of Indonesia Regulation No. 3 of 2014 concerning Community-Based Total Sanitation, healthy latrines are adequate fecal disposal facilities that break disease transmission chains. Unhealthy latrines often lack essential protective features, such as gooseneck construction, slippery floors, waste disposal channels, and lower buildings with septic tanks, which pose significant user risks.

This research was in line with the research conducted in Tanzania, showing a relationship between family latrine ownership and stunting, with a p -value of 0.001 [24]. Apart from that, research in South Ethiopia found

that toddlers living with inadequate toilets had a 1.7 times higher risk of experiencing stunting [25]. Latrine conditions and open defecation can increase the spread of diseases caused by fecal-oral transmission, including diarrhea, typhus, hepatitis, etc. [26].

The research in India reveals that stunting prevalence is the highest among children in rural areas due to open defecation practices, with a 13 % higher chance of stunting in toddlers compared to those with better toilet facilities [27]. Open defecation in toddlers exposes them to harmful microbes, potentially infecting their intestines. Intestinal infections, such as diarrhea and environmental enteric dysfunction, can impact children’s nutritional status, suppress appetite, and lead to malnutrition and growth issues [28, 29].

Research in Nepal shows that open defecation is a habit and a fun outdoor activity, and it is also forced due to the lack of latrines at home [30]. Careless disposal of human and animal feces can cause environmental pollution and disrupt the balance of the ecosystem [31]. Reducing the prevalence of open defecation in villages is more effective in reducing stunting than increasing individual latrine ownership [32].

Wastewater disposal facilities were related to the prevalence of stunting ($p = 0.003$); households with inappropriate wastewater disposal systems were 4,274 times more likely to experience stunting than households that have a proper system. A healthy wastewater disposal facility is crucial for stunting risk. However, most communities in Paluh Sibaji Village lack adequate wastewater disposal facilities (80.1 %). The community does not believe that a proper wastewater disposal system is crucial for basic sanitation and preventing stunting.

Wastewater disposal facilities can be in the form of sewers or pipes used to carry wastewater from its source. By its source of origin, wastewater has a composition that varies significantly from place to place and at any given time [33]. Safeguarding household liquid waste according to the Regulation of the Minister of Health of the Republic of Indonesia No. 3 of 2014 concerning Community-Based Total

Sanitation is carrying out liquid waste management activities in households originating from the remainder of washing, bathroom, and kitchen activities that meet environmental health quality standards and health requirements, which can break the chain of disease transmission.

The results of this study were consistent with Atharini's research showing a significant relationship between wastewater disposal facilities and stunting in toddlers ($p = 0.002$), where families with poor wastewater drainage have a 4.1 times greater risk of experiencing stunting compared to families with good wastewater drainage [34]. Inadequate wastewater disposal facilities can lead to stunting in children, but implementing proper practices can help mitigate this risk. Improper waterways also harbor harmful microorganisms, which can cause infections [35].

The test results for waste disposal facilities yielded a p -value of 0.773 ($p > 0.05$), indicating that statistically, there was no relationship between waste disposal facilities and stunting in toddlers. This fact is due to the proportion of people in Paluh Sibaji who have fewer waste disposal facilities (19.1 %) compared to those who do not have waste disposal (80.9 %), indicating an uneven distribution of samples and that stunting is caused by multiple factors that are more closely related to its occurrence. The majority's monthly household income is below the minimum wage for Deli Serdang Regency (92.9 %). This could be the cause of stunting.

In households without waste disposal facilities (80.9 %), the majority of people used open rubbish bins (97.2 %), rubbish bins that were not watertight or easily leaked (89.4 %), no waste sorting (98.6 %), rubbish that was not thrown away every day (87.2 %), and people had the habit of burning rubbish. Burning waste can contaminate food and drink, increase the risk of infection, and induce environmental diseases. Poor waste disposal facilities can breed vectors and negatively impact sanitation [36].

The mother's practice of washing hands with soap and running water, based on the bivariate analysis, obtained a p -value of 0.258 ($p > 0.05$); therefore, statistically, it can be interpreted that there was no relationship between mothers' washing hands with soap and running water and stunting in toddlers. However, the practice of washing hands by cleaning between the fingers using soap and running water yielded a p -value of 0.002 ($p < 0.05$), thus indicating a statistically significant relationship between the practice of washing hands and cleaning between the fingers using soap and running water.

Personal hygiene includes washing hands with soap and running water, as well as washing between the fingers. Good personal hygiene can help reduce diarrhea, which is a predictor of nutritional status in children [37]. Poor personal hygiene practices increase the risk of bacterial proliferation in the home environment, which can lead to the transmission of various infectious diseases and result in child stunting. In Rwanda, East Africa, the practice of mothers washing their hands with soap and running water is associated with a lower prevalence of stunting [38].

The results of this study were not in line with the research conducted in rural Ethiopia, which found a relationship between personal hygiene and stunting [39]. Maternal awareness about hand washing was low, potentially due to the lack of awareness about preventing diarrhea or worm infections. Six important times to wash hands were before cooking, feeding, defecating, contacting animals, gardening, engaging in outdoor activities, breastfeeding, changing diapers, and caring for toddlers, all of which are crucial for children's health [40]. Other studies have found that improving hygiene practices (such as proper hand washing and the availability of soap and water in latrines) and improving sanitation can interrupt various fecal-oral transmission pathways, thereby reducing the incidence of stunting [41, 42].

This research has limitations as the cross-sectional design does not allow establishing causal inference between stunting and the associated risk factors; the assessment of maternal hygiene practice relied on self-reported data regarding soap use and access to running water, which may be subject to reporting bias. This study did not include iodine deficiency as a potential risk factor for stunting, despite its widespread recognition as a significant nutritional deficiency contributing to growth disorders in children, particularly in Indonesia. Future research should consider incorporating this variable to provide a more comprehensive understanding of the underlying causes of stunting. Despite these, the findings explain the relationship between stunting, household sanitation, and fulfillment of four aspects of clean water security.

Conclusion

The research results reveal that continuity of clean water, toilet ownership, ownership of wastewater disposal facilities, and the practice of washing hands by cleaning between the fingers can influence stunting in toddlers in Paluh Sibaji Village.

This study suggests that environmental factors, which act as indirect risk factors, should be prioritized in addressing stunting in toddlers, particularly in coastal areas. Good personal hygiene practices, including hand washing with soap, access to latrines, and proper wastewater disposal facilities, as well as ensuring continuous water availability, are the priorities for reducing stunting in coastal areas. The strength of this study lies in the support of the local government and the health department, which have been very helpful in obtaining licenses and facilitating the provision of secondary data necessary for the research.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Research Institute of the University of North Sumatra (Universitas Sumatera Utara) for funding this research under the Talent Collaboration with the Government scheme. We appreciate the permission and cooperation of the Paluh Sibaji Village head and stunting cadres who assisted in carrying out this research on site.

Благодарности

Авторы благодарят научно-исследовательский институт Университета Северной Суматры за финансирование данного исследования в рамках программы сотрудничества с правительством

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-60-69>

Оригинальная исследовательская статья

в области привлечения талантов и выражают признательность за поддержку и сотрудничество главе деревни Палух Сибаджи и сотрудникам, занимающимся проблемами задержки роста и содействующим проведению работ.

REFERENCES / СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Laksono AD, Wulandari RD, Amaliah N, Wisnuwardani RW. Stunting among children under two years in Indonesia: Does maternal education matter? *PLoS One*. 2022;17(7):e0271509. doi: 10.1371/journal.pone.0271509
- Tran LM, Nguyen PH, Young MF, Ramakrishnan U, Alderman H. Home environment and nutritional status mitigate the wealth gap in child development: A longitudinal study in Vietnam. *BMC Public Health*. 2023;23(1):286. doi: 10.1186/s12889-023-15156-2
- World Health Organization. Length/height-for-age. Accessed December 30, 2025. <https://www.who.int/tools/child-growth-standards/standards/length-height-for-age>
- De Sanctis V, Soliman A, Alaraj N, Ahmed S, Alyafei F, Hamed N. Early and long-term consequences of nutritional stunting: From childhood to adulthood. *Acta Biomed*. 2021;92(1):e2021168. doi: 10.23750/abm.v92i1.11346
- Suratri MAL, Putro G, Rachmat B, et al. Risk factors for stunting among children under five years in the Province of East Nusa Tenggara (NTT), Indonesia. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(2):1640. doi: 10.3390/ijerph20021640
- World health statistics 2019: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva: World Health Organization; 2019. Accessed December 30, 2025. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565707>
- WHO/UNICEF/World Bank. Levels and trends in child malnutrition: UNICEF / WHO / World Bank Group joint child malnutrition estimates: Key findings of the 2023 edition. World Health Organization; 2023. Accessed December 30, 2025. <https://iris.who.int/handle/10665/368038>
- Ministry of Health of the Republic of Indonesia. Buku Saku Hasil Survei Status Gizi Indonesia (SSGI) 2022. 2023. (In Indonesian.) Accessed December 30, 2025. <https://kesmas.kemkes.go.id/assets/uploads/contents/attachments/09fb5b8ccdf088080f2521ff0b4374f.pdf>
- Amin N, Liu P, Foster T, et al. Pathogen flows from on-site sanitation systems in low-income urban neighborhoods, Dhaka: A quantitative environmental assessment. *Int J Hyg Environ Health*. 2020;230:113619. doi: 10.1016/j.ijheh.2020.113619
- World Health Organization. Sanitation. Published March 22, 2024. Accessed December 30, 2025. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>
- McGovern ME, Krishna A, Aguayo VM, Subramanian SV. A review of the evidence linking child stunting to economic outcomes. *Int J Epidemiol*. 2017;46(4):1171-1191. doi: 10.1093/ije/dyx017
- Vilcins D, Sly PD, Jagals P. Environmental risk factors associated with child stunting : A systematic review of the literature. *Ann Glob Heal*. 2018;84(4):551-562. doi: 10.9204/aogh.2361
- Gizaw Z, Yalow AW, Bitew BD, Lee J, Bisesi M. Stunting among children aged 24–59 months and associations with sanitation, enteric infections, and environmental enteric dysfunction in rural northwest Ethiopia. *Sci Rep*. 2022;12(1):19293. doi: 10.1038/s41598-022-23981-5
- Hasanah U, Maria IL, Jafar N, Hardianti A, Mallongi A, Syam A. Water, sanitation dan hygiene analysis, and individual factors for stunting among children under two years in Ambon. *Open Access Maced J Med Sci*. 2020;8(T2):22-26. doi: 10.3889/oamjms.2020.5177
- Karlsson O, Kim R, Moloney GM, Hasman A, Subramanian SV. Patterns in child stunting by age: A cross-sectional study of 94 low- and middle-income countries. *Matern Child Nutr*. 2023;19(4):e13537. doi: 10.1111/mcn.13537
- WHO/UNICEF. Core questions on water, sanitation and hygiene for household surveys. New York; 2018. Accessed December 30, 2025. <https://washdata.org/reports/jmp-2018-core-questions-household-surveys>
- USAID. Impact Evaluation of The UASAIUWASH Tangguh Activity-Evaluation Design Report. Jakarta; 2022. Accessed December 30, 2025. <https://www.norc.org/content/dam/norc-org/pdf2023/IUWASH-Tangguh-Evaluation-Design-Report.pdf>
- Manga M, Ngobi TG, Okeny L, et al. The effect of household storage tanks/vessels and user practices on the quality of water: A systematic review of literature. *Environ Syst Res*. 2021;10:18. doi: 10.1186/s40068-021-00221-9
- Hasan A, Kadarusman H. Akses ke sarana sanitasi dasar sebagai faktor risiko kejadian stunting pada balita usia 6–59 bulan. *Jurnal Kesehatan*. 2019;10(3):413-421. (In Indonesian.) doi: 10.26630/jk.v10i3.1451
- Otsuka Y, Agestika L, Widyarani, Sintawardani N, Yamauchi T. Risk factors for undernutrition and diarrhea prevalence in an urban slum in Indonesia: Focus on water, sanitation, and hygiene. *Am J Trop Med Hyg*. 2019;100(3):727-732. doi: 10.4269/ajtmh.18-0063
- Chan EYY, Tong KHY, Dubois C, et al. Narrative review of primary preventive interventions against water-borne diseases: Scientific evidence of health-EDRM in contexts with inadequate safe drinking water. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(23):12268. doi: 10.3390/ijerph182312268
- Yuniarti E, Raharini H. The relationship between healthy behavior and environmental sanitation with water quality in stunting occurrence work area of Sikabu Community Health Center Padang Pariaman. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci*. 2024;1317:012020. doi: 10.1088/1755-1315/1317/1/012020
- United Nations. Sustainable development goals: 17 goals to transform our world. Accessed December 30, 2025. <https://www.un.org/en/exhibits/page/sdgs-17-goals-transform-world>
- Zhu W, Zhu S, Sunguya BF, Huang J. Urban–rural disparities in the magnitude and determinants of stunting among children under five in Tanzania: Based on Tanzania Demographic and Health Surveys 1991–2016. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(10):5184. doi: 10.3390/ijerph18105184
- Woldesenbet B, Tolcha A, Tsegaye B. Water, hygiene and sanitation practices are associated with stunting among children of age 24–59 months in Lemo district, South Ethiopia, in 2021: Community based cross sectional study. *BMC Nutr*. 2023;9(1):17. doi: 10.1186/s40795-023-00677-1
- Fuhrmeister ER, Ercumen A, Pickering AJ, et al. Effect of sanitation improvements on pathogens and microbial source tracking markers in the rural Bangladeshi household environment. *Environ Sci Technol*. 2020;54(7):4316-4326. doi: 10.1021/acs.est.9b04835
- Rahman MHU, Malik MA, Chauhan S, Patel R, Singh A, Mittal A. Examining the linkage between open defecation and child malnutrition in India. *Child Youth Serv Rev*. 2020;117:105345. doi: 10.1016/j.childyouth.2020.105345
- Owino V, Ahmed T, Freemark M, et al. Environmental enteric dysfunction and growth failure/stunting in global

- child health. *Pediatrics*. 2016;138(6):e20160641. doi: 10.1542/peds.2016-0641
29. Sahiledengle B, Petrucka P, Desta F, Sintayehu Y, Mesfin T, Mwanri L. Childhood undernutrition mediates the relationship between open defecation with anemia among Ethiopian children: A nationally representative cross-sectional study. *BMC Public Health*. 2024;24(1):1484. doi: 10.1186/s12889-024-18931-x
 30. Bhatt N, Budhathoki S, Lucero-Prisno DEI, et al. What motivates open defecation? A qualitative study from a rural setting in Nepal. *PLoS One*. 2019;14(7):e0219246. doi: 10.1371/journal.pone.0219246
 31. Steinbaum L, Mboya J, Mahoney R, Njenga SM, Null C, Pickering AJ. Effect of a sanitation intervention on soil-transmitted helminth prevalence and concentration in household soil: A cluster-randomized controlled trial and risk factor analysis. *PLoS Negl Trop Dis*. 2019;13(2):e0007180. doi: 10.1371/journal.pntd.0007180
 32. Torlesse H, Cronin AA, Sebayang SK, Nandy R. Determinants of stunting in Indonesian children: Evidence from a cross-sectional survey indicate a prominent role for the water, sanitation and hygiene sector in stunting reduction. *BMC Public Health*. 2016;16:669. doi: 10.1186/s12889-016-3339-8
 33. Ayelign A, Zerfu T. Household, dietary and healthcare factors predicting childhood stunting in Ethiopia. *Heliyon*. 2021;7(4):e06733. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06733
 34. Artharini OM, Bumi C, Noveyani AE. Correlation between WASH and stunting in toddlers in Jember Regency. *J Ilmu Kesehat Masy*. 2022;13(3):278-291. doi: 10.26553/jikm.2022.13.2.278-291
 35. Soe TK, Laohasiriwong W, Sornlorm K, Mahato RK. Safely managed sanitation practice and childhood stunting among under five years old children in Myanmar. *PLoS One*. 2023;18(11):e0290600. doi: 10.1371/journal.pone.0290600
 36. Wilson AL, Courtenay O, Kelly-Hope LA, et al. The importance of vector control for the control and elimination of vector-borne diseases. *PLoS Negl Trop Dis*. 2020;14(1):e0007831. doi: 10.1371/journal.pntd.0007831
 37. Kwami CS, Godfrey S, Gavilan H, Lakhnypaul M, Parikh P. Water, sanitation, and hygiene: Linkages with stunting in rural Ethiopia. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(20):3793. doi: 10.3390/ijerph16203793
 38. Habimana JD, Uwase A, Korukire N, et al. Prevalence and correlates of stunting among children aged 6–23 months from poor households in Rwanda. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(5):4068. doi: 10.3390/ijerph20054068
 39. Ademas A, Adane M, Keleb A, Berihun G, Tesfaw G. Water, sanitation, and hygiene as a priority intervention for stunting in under-five children in northwest Ethiopia: A community-based cross-sectional study. *Ital J Pediatr*. 2021;47(1):174. doi: 10.1186/s13052-021-01128-y
 40. UNICEF. Everything you need to know about washing your hands to protect against coronavirus (COVID-19). 2020. Accessed December 30, 2025. https://www.unicef.org/indonesia/coronavirus/washing-hands
 41. Humphrey JH, Mbuya MNN, Ntozini R, et al.; Sanitation Hygiene Infant Nutrition Efficacy (SHINE) Trial Team. Independent and combined effects of improved water, sanitation, and hygiene, and improved complementary feeding, on child stunting and anaemia in rural Zimbabwe: A cluster-randomised trial. *Lancet Glob Health*. 2019;7(1):e132-e147. doi: 10.1016/S2214-109X(18)30374-7
 42. Sema B, Azage M, Tirfie M. Childhood stunting and associated factors among irrigation and non-irrigation user northwest, Ethiopia: A comparative cross-sectional study. *Ital J Pediatr*. 2021;47(1):102. doi: 10.1186/s13052-021-01048-x

Author information:

✉ Sri Malem **Indirawati**, PhD, Associate Professor, Department of Environmental Health, Faculty of Public Health, Universitas Sumatera Utara; e-mail: srimalem@usu.ac.id; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0974-8640.

Umi **Salmah**, PhD, Lecturer in the Department of Occupational Health and Safety, Faculty of Public Health, Universitas Sumatera Utara; e-mail: umisalmah@usu.ac.id; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9348-2173.

Taufik **Ashar**, PhD, Associate Professor, Department of Environmental Health, Faculty of Public Health, Universitas Sumatera Utara; e-mail: taufik.ashar@usu.ac.id; ORCID: https://orcid.org/0009-0002-8661-3125.

Arifa Masyitah **Panjaitan**, MPH, Lecturer in the Department of Population Studies and Biostatistics, Faculty of Public Health, Universitas Sumatera Utara; e-mail: panjaitanarifa@usu.ac.id; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4388-6967.

Risanti Febrine Ropita **Situmorang**, M.Sc., Lecturer, Department of Public Health Nutrition, Faculty of Public Health, Universitas Sumatera Utara; e-mail: risantisitumorang@usu.ac.id; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6309-2067.

Annisa Rizka **Lestari**, MPH, Researcher, Faculty of Public Health, Universitas Sumatera Utara; e-mail: annisa.r.lestari@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0003-9574-7608.

Author contributions: study conception and design: *Indirawati S.M., Salmah U.*; data collection and analysis: *Ashar T., Situmorang R.F.R., Panjaitan A.M.*; draft manuscript preparation: *Indirawati S.M., Lestari A.R., Situmorang R.F.R.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: This research has gone through ethical trials from the Health Research Ethics Committee of the University of North Sumatra (Universitas Sumatera Utara) No. 998/KEPK/USU/2023.

Funding: This research was funded by the University of North Sumatra research institute under the TALENTA program (grant No. 42/UN5.2.3.1/PPM/KP-TALENTA/R/2023).

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

Received: April 21, 2025 / Accepted: February 10, 2026 / Published: February 27, 2026

Сведения об авторах:

✉ **Индиравати** Шри Малем, доктор философии, доцент кафедры гигиены окружающей среды факультета общественного здравоохранения Университета Северной Суматры; e-mail: srimalem@usu.ac.id; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0974-8640.

Салмах Уми, доктор философии, преподаватель кафедры гигиены и охраны труда факультета общественного здравоохранения Университета Северной Суматры; e-mail: umisalmah@usu.ac.id; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9348-2173.

Ашар Тауфик, доктор философии, доцент кафедры гигиены окружающей среды факультета общественного здравоохранения Университета Северной Суматры; e-mail: taufik.ashar@usu.ac.id; ORCID: https://orcid.org/0009-0002-8661-3125.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-60-69>

Оригинальная исследовательская статья

Панджаитан Арифа Маситах, магистр общественного здравоохранения, преподаватель кафедры демографических исследований и биостатистики факультета общественного здравоохранения Университета Северной Суматры; e-mail: panjaitanarifa@usu.ac.id; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4388-6967>.

Ситуморанг Рисанти Фебрин Ропита, магистр наук, преподаватель кафедры гигиены питания населения факультета общественного здравоохранения Университета Северной Суматры; e-mail: risantisitumorang@usu.ac.id; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6309-2067>.

Лестари Анниса Ризка, магистр общественного здравоохранения, факультет общественного здравоохранения Университета Северной Суматры; e-mail: annisa.r.lestari@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9574-7608>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Индиравати Ш.М., Салмах У.*; сбор и анализ данных: *Ашар Т., Ситуморанг Р.Ф.Р., Панджаитан А.М.*; подготовка рукописи: *Индиравати Ш.М., Лестари А.Р., Ситуморанг Р.Ф.Р.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование одобрено Комитетом по этике медицинских исследований Университета Северной Суматры № 998/KEPK/USU/2023.

Финансирование: проведение исследования поддержано научно-исследовательским институтом Университета Северной Суматры в рамках программы TALENTA (грант № 42/UN5.2.3.1/PPM/KP-TALENTA/R/2023).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Статья получена: 21.04.25 / Принята к публикации: 10.02.26 / Опубликована: 27.02.26



© Коллектив авторов, 2026

УДК [614.7+613.6] : 616-006.04

Экологические риски и морфологические особенности канцерогенеза у населения промышленного города

М.С. Бугаева¹, О.И. Бондарев², А.Ю. Герус¹, В.В. Кислицына¹, Ю.С. Ликонцева¹

¹ ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», ул. Кутузова, д. 23, г. Новокузнецк, 654041, Российская Федерация

² Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, пр-т Строителей, д. 5, г. Новокузнецк, 654005, Российская Федерация

Резюме

Введение. Ведущая роль факторов окружающей среды и профессионально-производственной нагрузки в развитии онкопатологии органов дыхания определяет актуальность изучения региональных особенностей канцерогенеза у населения промышленного города.

Цель исследования: изучение экологических рисков и морфологических особенностей развития злокачественных онкологических заболеваний с акцентом на бронхолегочный гистион у населения г. Новокузнецка.

Материалы и методы. На основе данных по среднегодовым концентрациям загрязняющих веществ в г. Новокузнецке за 2018–2022 гг. определялся индивидуальный канцерогенный риск. Проведен анализ заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований легких и бронхов жителей Кузбасса за данный период. Осуществлены морфологические исследования аутопсийного материала бронхолегочной системы 50 шахтеров г. Новокузнецка (у 12 выявлен рак легких 4-й стадии).

Результаты. В 2018–2022 гг. показано превышение в атмосферном воздухе Новокузнецка гигиенического норматива по бенз(а)пирену и формальдегиду. Повышенные концентрации вредных канцерогенных примесей определялистораживающие уровни рисков для здоровья населения. В данные годы отмечен прирост случаев заболеваемости раком легких и бронхов жителей Кузбасса, преимущественно мужчин. По состоянию на 2022 г. у 74 % лиц при первичной диагностике заболевание носило условно операбельный или неоперабельный характер. В г. Новокузнецке высокие уровни заболеваемости и смертности характерны для лиц старше 50 лет, односторонняя летальность от рака легкого и бронхов составила 46,1 %. В зонах пневмофиброза у шахтеров г. Новокузнецка выявлена высокая активность фибробластических клеток с потенциалом малигнизации, что позволяет рассматривать фиброз, ассоциированный с длительным воздействием угольно-породной пыли, как триггер опухолевого роста.

Выводы. Полученные результаты дают основание для необходимости проведения комплекса мероприятий по управлению канцерогенными рисками, обусловленными воздействием экологических факторов и производственной деятельностью.

Ключевые слова: канцерогенез, факторы риска, население промышленного города, злокачественные новообразования, дыхательная система, шахтеры, антракосиликоз.

Для цитирования: Бугаева М.С., Бондарев О.И., Герус А.Ю., Кислицына В.В., Ликонцева Ю.С. Экологические риски и морфологические особенности канцерогенеза у населения промышленного города // Здоровье населения и среда обитания. 2026. Т. 34. № 2. С. 70–80. doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-70-80

Environmental Risks and Morphological Features of Carcinogenesis in the Population of an Industrial City

Maria S. Bugaeva,¹ Oleg I. Bondarev,² Anna Yu. Gerus,¹ Vera V. Kislitsyna,¹ Julia S. Likontseva¹

¹ Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, 23 Kutuzov Street, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation

² Novokuznetsk State Institute of Advanced Medical Training – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, 5 Stroiteley Avenue, Novokuznetsk, 654005, Russian Federation

Summary

Introduction: The leading role of environmental factors and occupational hazards in the development of respiratory cancers determines the relevance of studying regional characteristics of carcinogenesis in the population of an industrial city.

Objective: To establish environmental risks and morphological features of the development of malignant tumors with an emphasis on bronchopulmonary histology in the population of the city of Novokuznetsk.

Materials and Methods: Individual carcinogenic risk was determined using data on average annual pollutant concentrations in Novokuznetsk for 2018–2022. We analyzed morbidity and mortality from malignant neoplasms of the lungs and bronchi among Kuzbass residents during that period and conducted morphological studies of autopsy specimens from the bronchopulmonary system of 50 Novokuznetsk miners, 12 of whom were diagnosed with stage 4 lung cancer.

Results: In 2018–2022, ambient benzo(a)pyrene and formaldehyde levels in Novokuznetsk exceeded their permissible limits. Elevated concentrations of harmful carcinogenic air contaminants posed alarming risks to public health. During those years, an increase in lung and bronchial cancer cases was observed among Kuzbass residents, primarily men. As of 2022, 74 % of individuals diagnosed with lung and bronchial cancer were considered conditionally resectable or inoperable at initial diagnosis. In Novokuznetsk, high morbidity and mortality rates were typical for individuals over 50 years of age, with the one-year fatality rate from lung and bronchial cancer reaching 46.1 %. High activity of fibroblastic cells with malignant potential was detected in the areas of pulmonary fibrosis in Novokuznetsk miners. This suggests that fibrosis associated with long-term exposure to coal dust may trigger tumor growth.

Conclusion: Our findings substantiate the need for a comprehensive set of measures aimed to manage carcinogenic risks posed by environmental and occupational factors.

Keywords: carcinogenesis, risk factors, population of an industrial city, malignant neoplasms, respiratory system, miners, anthracosilicosis.

Cite as: Bugaeva MS, Bondarev OI, Gerus AYU, Kislitsyna VV, Likontseva JS. Environmental risks and morphological features of carcinogenesis in the population of an industrial city. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2026;34(2):70–80. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-70-80

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-70-80>
Оригинальная исследовательская статья

Введение. Онкологические заболевания являются второй ведущей причиной смертности в мире после сердечно-сосудистых. В 2020 г. зарегистрировано 19,3 млн новых случаев рака и почти 10 млн случаев смерти от злокачественных новообразований [1]. На конец 2021 г. в Российской Федерации число состоящих на диспансерном наблюдении пациентов с данной патологией составило 3 940 529 человек¹, впервые выявлено 580 415 злокачественных новообразований². В 2022 г. отмечен прирост новых случаев на 7,6 %³.

Региональные особенности распространенности и структуры заболеваемости определяются климато-географическими, экологическими, промышленными и социально-экономическими характеристиками, некоторые из которых могут выступать факторами риска для здоровья населения. Вклад факторов окружающей среды в ухудшение состояния здоровья населения достигает 25–33 % [2]. Многочисленными исследованиями доказана роль вредных атмосферных примесей в развитии экологозависимых патологий, в частности онкологических заболеваний [3–8]. Основной критической системой органов, на которую оказывается наибольшее воздействие, является дыхательная.

Промышленный г. Новокузнецк относится к центру, характеризующемуся катастрофическим загрязнением атмосферы (превышение ПДК в 5 и более раз), в связи с высокой концентрацией предприятий угольно-металлургической отрасли [3, 9]. Кроме того, значительная часть его трудоспособного населения подвержена профессионально-производственной нагрузке. Ведущими вредными факторами производственной среды и трудового процесса угольной промышленности являются неблагоприятные метеорологические условия, угольно-породная пыль (УПП) и вредные газы, отсутствие дневного света в подземных выработках, шум и вибрация при работе пневматического отбойного оборудования, угольных комбайнов и пр. [10–13]. Частицы угля имеют сложную химическую структуру и могут вызывать активацию макрофагов, эпителиальных клеток и фибробластов, высвобождение активных форм кислорода и экспрессию цитокинов. Провоспалительные цитокины играют важную роль в воспалительной реакции легких и окислительном стрессе у лиц, подвергающихся воздействию профессиональных загрязнителей [14–16]. Неблагоприятное гигиеническое значение УПП заключается и в ее фиброгенном действии на легочную ткань, обусловленном содержанием в пыли свободнорадикального кремнезема (SiO_2), что ведет к развитию специфического профессионального заболевания легких – антракосиликоза [17]. Спектральный

анализ показывает, что при отработке углей, добываемых на шахтах г. Новокузнецка, в воздухе забоя в большом проценте присутствуют и другие биологически агрессивные элементы: германий, мышьяк, стронций, иттрий, олово, барий, ртуть, свинец⁴. Кроме того, исследованиями Сидоровой Г.П. и соавт. установлено, что «уголь всегда содержит природные радиоактивные вещества уранового и актиноуранового рядов (^{238}U и продукты его распада ^{234}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Po и т. д.; ^{235}U и продукты его распада ^{219}Rn и т. д.), ториевого ряда (^{232}Th и продукты его распада ^{220}Rn , ^{216}Po), а также долгоживущий радиоактивный изотоп ^{40}K , что обеспечивает его естественную радиоактивность. Угли различного марочного состава существенно отличаются по уровням накопления радиоактивных элементов. Практически на всех разрезах в Кузнецком бассейне имеются локальные участки окисленных углей. Они требуют специального обращения, так как часто характеризуются аномально высокими активностями ^{226}Ra » [18]. Это свидетельствует о высокой потенциальной опасности избыточного поступления компонентов промышленной пыли в организм. В работе Савченко Я.А. и соавт. показано, что ее «цитотоксичность и генотоксичность обуславливают повреждение ДНК, в результате чего могут произойти трансформация протоонкогенов в онкогены, инактивация генов раковых супрессоров, нарушение функционирования системы репарации ДНК. Любой из этих процессов может послужить причиной опухолевой трансформации клеток и неконтролируемого клеточного роста» [19].

Ранее различными авторами были предприняты попытки установить взаимосвязь между антракосиликозом и карциномой легкого. Вместе с тем данные исследования содержат по большей части статистическую информацию и не раскрывают морфогенез неопластических изменений в бронхолегочной системе шахтеров. Так, в работе Stayner L.T. и Wegman D.H. изучалась корреляция между профессией, курением и тремя наиболее распространенными гистологическими типами злокачественных новообразований легких (плоскоклеточный рак, мелкоклеточный рак и аденокарцинома)⁵. Курение было достоверно связано со всеми тремя разновидностями онкопатологии, наиболее сильно с мелкоклеточным раком. Плоскоклеточный рак был типом, чаще всего ассоциируемым с профессиональными категориями. Vallyathan V. с соавторами в рамках Национального исследования аутопсий угольщиков проведено исследование по изучению связи между силикозом у шахтеров и раком легких⁶. Средний подземный стаж работы у исследуемых рабочих составлял 29 ± 14 лет, средний стаж

¹ Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О., ред. Состояние онкологической помощи населению России в 2021 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2022. 239 с.

² Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О., ред. Злокачественные новообразования в России в 2021 году (заболеваемость и смертность). М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2022. 252 с.

³ Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О., Лисичникова И.В., ред. Злокачественные новообразования в России в 2022 году (заболеваемость и смертность). М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2023. 275 с.

⁴ Золоева П.В. Гигиенические аспекты профессионального антракосиликоза и особенности его формирования в эксперименте: дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 2010.

⁵ Stayner L.T., Wegman D.H. Smoking, occupation, and histopathology of lung cancer: A case-control study with the use of the Third National Cancer Survey. J Natl Cancer Inst. 1983;70(3):421–426.

⁶ Vallyathan V., Green F.H., Rodman N.F., Boyd C.B., Althouse R. Lung carcinoma by histologic type in coal miners. Arch Pathol Lab Med. 1985;109(5):419–423.

курения – 31 ± 23 пачка/лет, доля карцином по типу: плоскоклеточный рак – 30 %; аденокарцинома – 27 %; мелкоклеточный недифференцированный рак – 26 %; крупноклеточный недифференцированный рак – 9 %; другие карциномы – 8 %. Установлено, что в правом легком и в верхних долях обоих легких наблюдалось больше опухолей, чем в левом и нижних долях. Большинство из них были центральных локализаций (81 %). Плоскоклеточный рак преобладал у шахтеров старшего возраста и в более крупных дыхательных путях, а аденокарциномы чаще встречались в периферических отделах легких.

Вышеизложенное диктует необходимость определения экологических рисков и морфологических особенностей канцерогенеза у населения промышленного г. Новокузнецка, изучения триггерных механизмов развития онкологической патологии дыхательной системы.

Цель исследования – изучение экологических рисков и морфологических особенностей развития злокачественных онкологических заболеваний с акцентом на бронхолегочный гистион у населения г. Новокузнецка.

Материалы и методы. В работе использовались данные по валовым атмосферным выбросам и среднегодовым концентрациям загрязняющих веществ из официальных докладов по состоянию и охране окружающей среды Кемеровской области и Новокузнецка⁷. Предельно допустимые концентрации (ПДК) атмосферных загрязнителей определялись по СанПиН 1.2.3685–21⁸. Расчет канцерогенного риска для здоровья населения проводился в соответствии с Руководством Р 2.1.10.3968–23⁹. Индивидуальный риск определялся от воздействия веществ с доказанным канцерогенным эффектом: бенз(а)пирена, формальдегида и углерода (сажи). Верхней границей допустимого индивидуального канцерогенного риска считается 1×10^{-4} . Классификация уровней рисков осуществлялась на основе МР 2.1.10.0156–19¹⁰.

На основании материалов базы данных Федерального ракового регистра проведен анализ заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований рака легких и бронхов жителей Кузбасса и г. Новокузнецка, состоящих на учете в ГБУЗ «Кузбасский клинический онкологический диспансер имени М.С. Раппопорта», за 2018–2022 гг.

Осуществлены гистологическое и иммуногистохимическое исследования бронхолегочной си-

стемы 50 шахтеров г. Новокузнецка, погибших при техногенной катастрофе (аутопсийный материал). Вредный стаж работников варьировался от 6 до 35 лет, распределение по возрастным группам было следующим: ≤ 29 лет – 14 человек; $\geq 30 \dots \leq 39$ – 12; $\geq 40 \dots \leq 49$ – 14; $\geq 50 \dots \leq 59$ – 10 шахтеров. У 12 лиц выявлен рак легких различного гистологического типа. Согласно классификации злокачественных новообразований TNM, все исследуемые случаи соответствовали четвертой стадии онкологического процесса. Для сравнения полученных результатов были созданы контрольные группы, представленные морфологическими данными судебно-медицинских экспертиз 40 мужчин из г. Таштагола и Междуреченска, погибших в дорожно-транспортном происшествии и находившихся в возрасте от 18 до 55 лет (диапазоны возрастных групп: ≤ 29 лет – 10 человек; $\geq 30 \dots \leq 39$ – 10; $\geq 40 \dots \leq 49$ – 10; $\geq 50 \dots \leq 55$ – 10 человек). Данные лица проживали в благоприятной экологической обстановке, не подвергались воздействию профессиональной пылевой нагрузки и, согласно результатам патолого-анатомического исследования, не имели признаков хронических соматических заболеваний.

В ходе исследования проводилось микроскопическое изучение тканей легких, бронхов, плевры и сосудов легких различного калибра. Применялись стандартные методы окраски гистологических препаратов гематоксилин-эозином, а также специализированные для визуализации патологических изменений соединительной ткани (неопластических процессов и деструктивных поражений). С целью детального анализа структурных изменений в воздухоносных путях, кровеносных сосудах и респираторных отделах легких также проводились морфометрические исследования с количественной оценкой гистологических параметров. Морфометрическое измерение осуществлялось на микроскопе Nikon Eclipse E 200 с цифровой видеокамерой Nikon Digital Sight – Fi1 (Japan) с использованием компьютерной программы фирмы West Medica HandelsgrmbH – Bio Vision 4.0.

Статистическая обработка данных проведена с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics 22 (лицензионный договор № 20/604/3–1 от 22.04.2016). Нормальность распределения количественных признаков оценивали с помощью показателей эксцесса и асимметрии. При отклонении распределения от нормального

⁷ Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2018 году. Кемерово, 2019. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://ecokem.ru/wp-content/uploads/2019/09/do%D1%81lad-2018.pdf> (дата обращения: 20 января 2025 г.); доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2019 году. Кемерово, 2020. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2020/09/gosdoclad2019.pdf> (дата обращения: 20 января 2025 г.); доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2020 году. Кемерово, 2021. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://ecokem.ru/wp-content/uploads/2022/02/%D0%94%D0%9E%D0%9A%D0%9B%D0%90%D0%94-2020-%D0%BD%D0%B0-04.02.2022_1-1.pdf (дата обращения: 20 января 2025 г.); доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2021 году. Кемерово, 2022. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2022/08/doklad_2021.pdf (дата обращения: 20 января 2025 г.); доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2022 году. Кемерово, 2023. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2023/11/Doklad_zh_2022_01_07_2023_04.pdf (дата обращения: 20 января 2025 г.).

⁸ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Введены 01.03.2021. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. 668 с.

⁹ Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания». Руководство (утв. Роспотребнадзором 06.09.2023). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2023. 320 с.

¹⁰ МР 2.1.10.0156–19 «Оценка качества атмосферного воздуха и анализ риска здоровью населения в целях принятия обоснованных управленческих решений в сфере обеспечения качества атмосферного воздуха и санитарно-эпидемиологического благополучия населения». Утверждены Роспотребнадзором от 02.12.2019. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. 28 с.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-70-80>
Оригинальная исследовательская статья

использовали непараметрический *U*-критерий Манна – Уитни для попарного сравнения стажированных групп шахтеров с группой контроля. Критический уровень значимости (*p*) для отклонения нулевой гипотезы принимали равным 0,05. Полученные данные представлены в виде медианы и интерквартильного размаха (Me (25 %; 75 %)).

Иммуногистохимическое исследование выполняли с использованием антител к маркеру пролиферации Ki-67, маркерам межклеточных взаимодействий: ЕМА, SMA, мышечной ткани: виментину и десмину, факторам эндотелиальной функции CD31 и CD34. Технически была применена мультимерная безбиотиновая система детекции – REVEAL Biotin-Free Polyvalent DAB (Spring Bioscience) по стандартной методике для иммуногистохимической диагностики. Результаты оценивали полуквантитивным методом в 10 полях зрения микроскопа, по 100 клеток в каждом, при увеличении $\times 100$. Подсчет количества антиген-положительных клеток к общему количеству всех клеток в изучаемых органах выполняли двумя способами – вручную и в автоматическом режиме с использованием компьютерной программы фирмы West Medica Production und Handels-GmbH – Bio Vision 4.0. Количество

клеток до 7 в одном поле зрения расценивали как слабо выраженную реакцию (+), от 10 до 15 – как умеренную (++), более 25 – как резко выраженную реакцию (+++).

Результаты. Анализ показателей валовых выбросов в атмосферу г. Новокузнецка в 2018–2022 гг. выявил динамику к снижению общего объема выбросов с 295,8 тыс. т в 2018 г. до 263,2 тыс. т в 2022 г. На рис. 1 представлены среднегодовые концентрации канцерогенных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Новокузнецка в 2018–2022 гг., выраженные в долях ПДК.

Основным загрязняющим веществом, среднегодовые концентрации которого превышают гигиенический норматив в 3,5–11,2 раза, является бенз(а)пирен. Наибольшая его концентрация наблюдалась в 2022 г. (11,2 ПДК). Среднегодовые концентрации формальдегида были выше ПДК в 1,7 и 3,4 раза в 2021 и 2022 гг., углерода (сажи) – находились в пределах нормы. В 2022 г. измерения концентраций углерода (сажи) не проводились.

Индивидуальный канцерогенный риск, обусловленный воздействием формальдегида, составил $1,3 \times 10^{-4}$ в 2022 г., что соответствует настораживающему уровню согласно МР 2.1.10.0156–19.

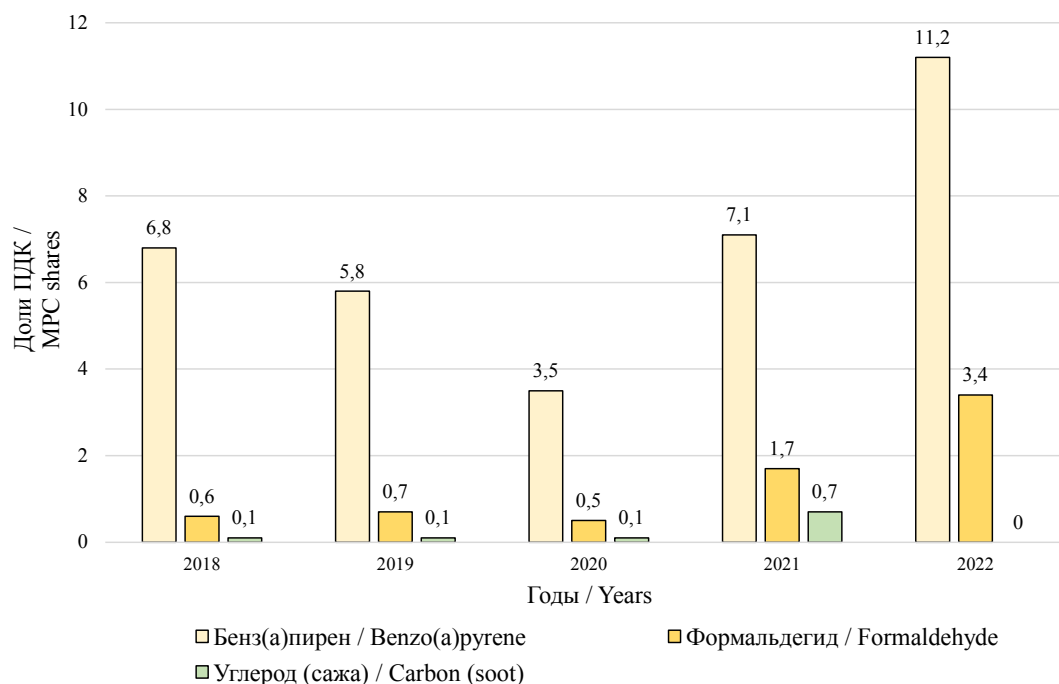


Рис. 1. Среднегодовые концентрации канцерогенных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Новокузнецка, выраженные в долях ПДК

Fig. 1. Average annual concentrations of carcinogenic ambient air pollutants in Novokuznetsk, expressed as % MPC

Таблица 1. Индивидуальный канцерогенный риск для здоровья жителей Новокузнецка

Table 1. Individual carcinogenic health risk for residents of Novokuznetsk

Загрязняющее вещество / Pollutant	Год / Year				
	2018	2019	2020	2021	2022
Бенз(а)пирен / Benzo(a)pyrene	$0,08 \times 10^{-4}$	$0,06 \times 10^{-4}$	$0,04 \times 10^{-4}$	$0,08 \times 10^{-4}$	$0,12 \times 10^{-4}$
Формальдегид / Formaldehyde	$0,2 \times 10^{-4}$	$0,3 \times 10^{-4}$	$0,2 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-4}$
Углерод (сажа) / Carbon (soot)	$0,1 \times 10^{-4}$	$0,1 \times 10^{-4}$	$0,1 \times 10^{-4}$	$0,8 \times 10^{-4}$	—
Суммарный риск / Total risk	$0,4 \times 10^{-4}$	$0,5 \times 10^{-4}$	$0,3 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-4}$

В остальные годы значения индивидуального канцерогенного риска от влияния бенз(а)пирена, формальдегида и углерода (сажи) не превышали допустимый уровень.

Суммарный индивидуальный канцерогенный риск не превышал допустимый уровень (1×10^{-4}) в 2018–2020 гг. Рост его наблюдался в 2021–2022 гг. Наибольший суммарный индивидуальный канцерогенный риск ($1,6 \times 10^{-4}$) выявлен в 2021 г. и оценивается как настораживающий. В 2022 г. отсутствовали наблюдения по углероду (саже), но даже в отсутствие таких данных уровень риска превышает верхнюю границу допустимого риска и считается настораживающим.

На рис. 2 приведен удельный вес загрязняющих веществ в формировании суммарного индивидуального канцерогенного риска.

Наибольший вклад в формирование уровня суммарного индивидуального канцерогенного риска в 2018–2020 гг. вносил формальдегид (52,6–58,8 %), в 2021 г. наибольший удельный вес имел углерод (сажа), составляя 50,6 %. В 2022 г. вклад формальдегида составил 91,5 %.

Таким образом, за изученный период выявлено снижение валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Новокузнецка. Вместе с тем наблюдаются повышенные концентрации вредных канцерогенных примесей (бенз(а)пирена, формальдегида), определяющие настораживающие уровни рисков для здоровья жителей города.

Анализ заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований легких и бронхов жителей Кузбасса и г. Новокузнецка, состоящих на учете в ГБУЗ «Кузбасский клинический онкологический диспансер имени М.С. Раппопорта», показал прирост числа случаев онкопатологии за 2018–2022 гг. Рак легких у мужчин выходит на первое место, а рост онкологических заболеваний приходится на возрастную группу 45 лет и старше.

По состоянию на 2022 г. в онкологическом диспансере состояло на учете 16 783 пациента с диагнозом «рак легкого», подавляющее большинство – мужчины (13 358 человек). Все исследуемые лица проживали в Кузбассе. У 3510 (26 %) пациентов мужского пола рак легкого диагностирован на 1–2-й стадии (первично операбельный), у 9848 (74 %) – на 3–4-й стадии. Таким образом, у большей части наблюдаемых лиц заболевание носило уже условно операбельный или неоперабельный характер.

На рис. 3 показано, что количество жителей г. Новокузнецка, состоящих на учете по поводу злокачественных новообразований легких и бронхов, по состоянию на 2022 г. в 1,5 раза превышало показатели г. Кемерово.

Наибольший вклад в формирование уровня суммарного индивидуального канцерогенного риска в 2018–2020 гг. вносил формальдегид (52,6–58,8 %), в 2021 г. наибольший удельный вес имел углерод (сажа), составляя 50,6 %. В 2022 г. вклад формальдегида составил 91,5 %.

Таким образом, за изученный период выявлено снижение валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Новокузнецка. Вместе с тем наблюдаются повышенные концентрации вредных канцерогенных примесей (бенз(а)пирена, формальдегида), определяющие настораживающие уровни рисков для здоровья жителей города.

Анализ заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований легких и бронхов жителей Кузбасса и г. Новокузнецка, состоящих на учете в ГБУЗ «Кузбасский клинический онкологический диспансер имени М.С. Раппопорта», показал прирост числа случаев онкопатологии за 2018–2022 гг. Рак легких у мужчин выходит на первое место, а рост онкологических заболеваний приходится на возрастную группу 45 лет и старше.

В г. Новокузнецке рост заболеваемости раком легких и бронхов 3–4 стадии характерен для

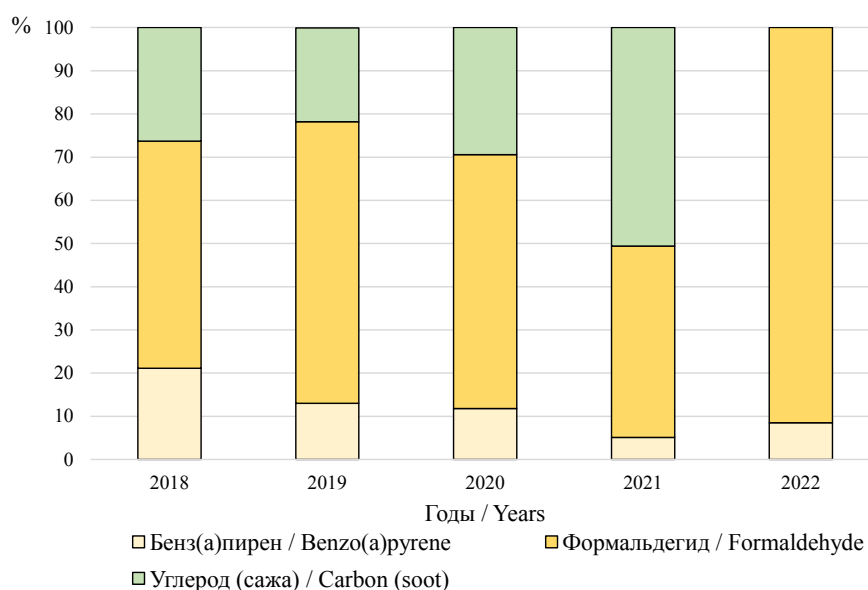


Рис. 2. Удельный вес загрязняющих веществ в формировании суммарного индивидуального канцерогенного риска, %

Fig. 2. Contribution of pollutants to the total individual carcinogenic risk, %

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-70-80>
Оригинальная исследовательская статья

возрастной группы мужчин 50–60 лет (2263 пациента). Из рис. 4 видно, что начиная с 55 лет она резко более чем в 5 раз возрастает, с дальнейшим поступательным увеличением, ассоциированным с возрастом.

Одногодичная летальность от рака легкого и бронхов в 2022 г. составила 46,1 %. Смертность от злокачественных опухолей бронхов и легких среди пациентов возрастной группы 1960–1970 гг. рождения с неоперабельной и условно операбельной стадией составила 1951 человек (86 %).

Морфологическое исследование бронхолегочного гистиона шахтеров г. Новокузнецка показало

прогрессирующее склерозирование всех тканевых компонентов с вовлечением в фиброзный процесс бронхов, легочных сосудов различного диаметра и плевры, истончение слизистой оболочки бронхов при одновременном утолщении мышечной пластинки за счет увеличения объема ее волокон (табл. 2). В зонах фиброза встречалось значительное количество фибробластов и фибробластоподобных клеток с признаками повышения их функциональной активности в виде гиперхроматоза, изменения формы и размеров клеток, увеличения ядерно-цитоплазматического соотношения. На этом фоне у шахтеров с раком легких отмечалась метаплазия

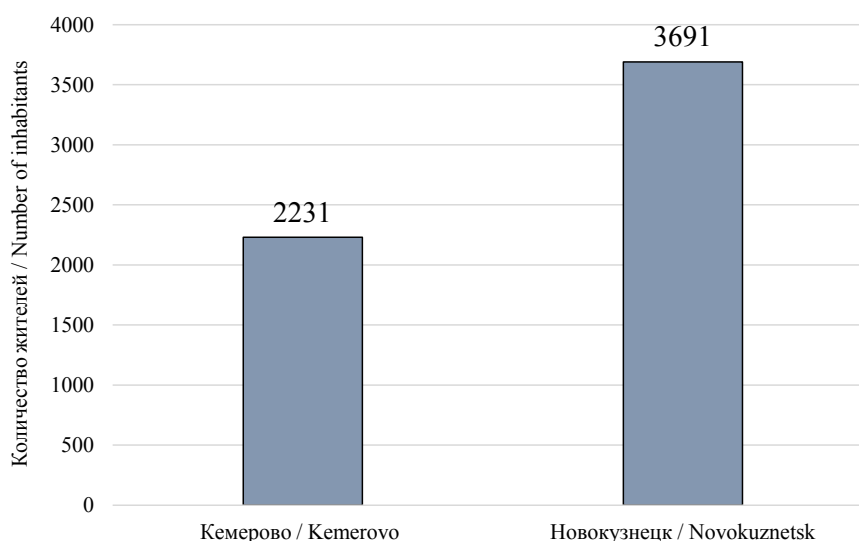


Рис. 3. Количество жителей г. Кемерово и г. Новокузнецка, состоящих на учете по поводу злокачественных новообразований легких и бронхов на 2022 г.

Fig. 3. Number of residents of Kemerovo and Novokuznetsk receiving follow-up care for malignant neoplasms of the lungs and bronchi in 2022

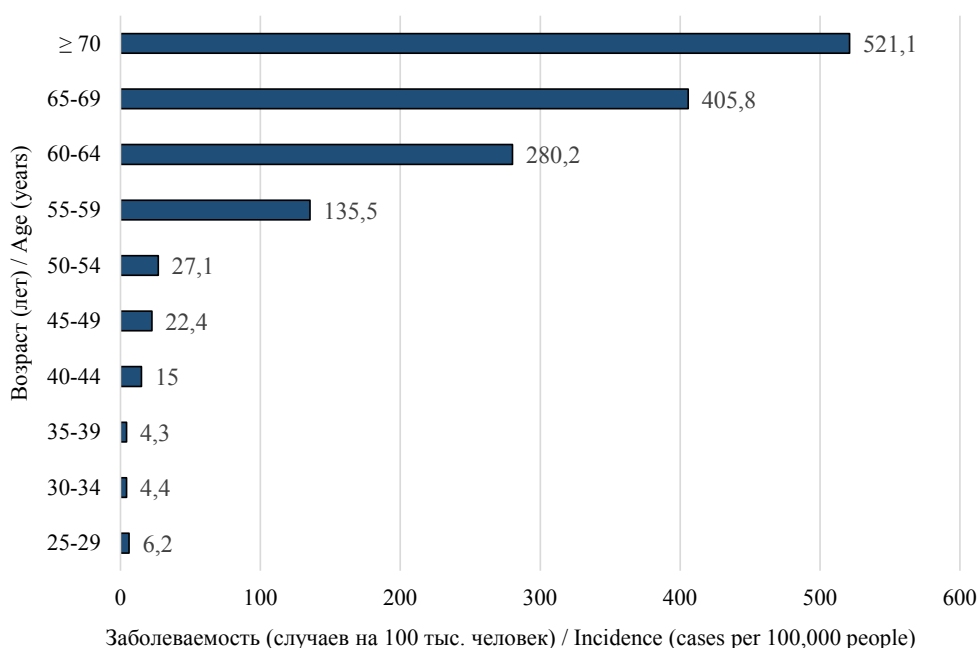


Рис. 4. Заболеваемость раком легких и бронхов у мужчин по возрастным группам в г. Новокузнецке, 2022 г. (случаев на 100 тыс. человек)

Fig. 4. Incidence of lung and bronchial cancer in men by age groups in Novokuznetsk, 2022 (cases per 100,000 people)

бронхиального эпителия, а также появление признаков атипии и анаплазии с формированием опухолевых конгломератов различного размера. В бронхиальном эпителии наблюдалась повышенная экспрессия виментина (++ – +++), сопровождающаяся изменением клеточной морфологии, нарушением полярности и дезинтеграцией межклеточных связей. Интенсивность экспрессии виментина существенно варьировала в зависимости от топографической локализации и усиливалась со стажем работы. В проекции фенотипически измененных клеточных сообществ имелось определенное снижение окрашивания цитоплазматических рецепторных зон (EMA и SMA) с положительной реакцией на виментин и десмин (+++). Базальная мембрана имела размытые границы, местами гомогенизирована, с участками расслоения, образованием фенестрированных зон и единичными фибробластоподобными элементами, деструкцией коллагеновой основы. В стенках крупных бронхов отмечались проявления частичного замещения мышечных волокон элементами соединительной ткани. Характерно разрастание фиброзных прослоек, формирующих петлистую структуру соединительного межмышечного каркаса. Одновременно выявлялось нарушение организации фиброзного матрикса бронхов с признаками дегенеративного преобразования коллагеновых волокон.

Отмечена экспрессия Ki-67 в эпителиальной ткани легкого, в большей степени в очагах метаплазии (+) и зоне опухолевой трансформации бронхиального эпителия (++) . Площадь анаплазированных опухолевых клеток в зоне фиброзной трансформации составляла 350 (200,4; 524,3) мкм², статистически значимо превышая показатели дистрофически измененного эпителия у шахтеров без данной патологии (156,4 (99,6; 220,6) мкм²) ($U = -3,878, p = 0,001$). Эти данные указывали на повышение функциональной активности метаплазированных клеток и переход их в качественно новые опухолевые клеточные типы.

В легочных сосудах наблюдались следующие патологические изменения: утолщение мышечного слоя стенки, склеротические процессы и увеличение объемных характеристик эндотелиальных клеток. В окружающих тканях отмечалось разрастание соединительной ткани, приводящее к частичной деформации сосудистых просветов (табл. 2). При проведении иммуногистохимического анализа в склерозированных участках, распространяющихся за границы сосудистого гистиона, были идентифицированы клеточные кластеры, соответствовавшие по морфологическим характеристикам фибробластам. Они экспрессировали панэндотелиальные маркеры CD31 и CD34 (++ – +++), что позволяет отнести их к клеточной популяции дедифференцированной эпителиальной ткани. Данные элементы выявлялись в умеренном количестве в перибронхиальной и периваскулярной соединительной ткани, формируя обширные зоны. Сам фиброзный каркас склонен к изменению своей основы с признаками новообразования и тканевой перестройки.

У лиц контрольной группы скопления угольной пыли в бронхолегочной системе полностью отсутствовали, не наблюдалось признаков фиброза.

Слизистая оболочка бронхов имела сохранную структуру с эпителием респираторного типа (призматический тип), стенка бронхов не утолщена. Ни у одного исследуемого, вошедшего в группу контроля, не обнаружено признаков метаплазии бронхиального эпителия. Эндотелиоциты сосудов не увеличены, в периваскулярных пространствах практически отсутствовали фибропластические изменения (табл. 2).

Таким образом, изменения в тканевом гистионе у шахтеров характеризовались выраженными обменно-дистрофическими процессами со стороны соединительнотканного каркаса в условиях воздействия УПП и прогрессирующими признаками дезорганизации коллагеновой основы базальных мембран. Трансформированные фибробласты, миофибробласты являются клеточной популяцией дедифференцированной эпителиальной ткани с различной экспрессией неспецифических маркеров. В зонах пневмофиброза у шахтеров выявлена высокая активность данных фибробластических клеток с потенциалом опухолевой трансформации.

Обсуждение. В связи с большой концентрацией в Кемеровской области промышленных предприятий остается актуальным вопрос о негативном влиянии экологической среды и производственной деятельности как на работников предприятий, так и на население городов в целом вследствие высокого атмосферного загрязнения воздуха. Установлено, что на атмосферу Новокузнецка и Новокузнецкого района оказывается критическая антропогенная нагрузка [3]. Несмотря на общее снижение валовых выбросов в 2018–2022 гг., повышенные концентрации вредных канцерогенных примесей (бенз(а)пирена, формальдегида) определяютстораживающие уровни рисков для здоровья жителей города. Наиболее сильному влиянию веществ, содержащихся в воздухе, подвержены органы дыхания человека с риском развития онкопатологий. Это подтверждается высоким уровнем заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований легких и бронхов жителей г. Новокузнецка. Вместе с тем природа возникновения и развития опухолевой ткани в легких у работников угольной промышленности до конца остается неясной. Последние исследования показывают, что сама фиброзная ткань может являться источником ее формирования. Отмечено, что эндотелиальные клетки и фибробласты играют важную роль в прогрессировании, росте и распространении рака. Фибробласты связаны с раковыми клетками на всех стадиях прогрессирования болезни. Продукция ими факторов роста, хемокинов и внеклеточного матрикса облегчает ангиогенное рекрутирование эндотелиальных клеток и перicyтов. Активированные фибробласты (миофибробласты), которые обнаруживаются в ассоциации с раковыми клетками, известны как опухоль-ассоциированные фибробласты. Они модулируют микроокружение опухоли и влияют на поведение неопластических клеток, либо стимулируя, либо ингибируя новообразование [20, 22]. В связи с этим, опираясь на полученные в данных работах результаты гистологических и иммуногистохими-

Таблица 2. Морфометрический анализ бронхолегочной системы шахтеров г. Новокузнецка**Table 2. Morphometric analysis of the bronchopulmonary system of miners in Novokuznetsk**

Группа / Group	Толщина слизистой оболочки бронхов диаметром 500–1500 мкм, мкм / Thickness of the bronchial mucosa of 500–1500 µm in diameter, µm		Толщина перибронхиального фиброза бронхов диаметром 500–1500 мкм, мкм / Thickness of peribronchial fibrosis of bronchi with a diameter of 500–1500 µm, µm		Толщина периваскулярного фиброза сосудов легких диаметром 100–250 мкм, мкм / Thickness of perivascular fibrosis of pulmonary vessels with a diameter of 100–250 µm, µm		Толщина межальвеолярной перегородки, мкм / Thickness of the interalveolar septum, µm	
	Me (25 %; 75 %)	U-критерий Манна – Уитни, p / Mann–Whitney U test, p	Me (25 %; 75 %)	U-критерий Манна – Уитни, p / Mann–Whitney U test, p	Me (25 %; 75 %)	U-критерий Манна – Уитни, p / Mann–Whitney U test, p	Me (25 %; 75 %)	U-критерий Манна – Уитни, p / Mann–Whitney U test, p
Шахтеры со стажем работы 6–11 лет / Miners with 6–11 years of work experience	19,73 (14,87; 25,1)	U = –5,99 p = 0,001	70,66 (56,57; 100,4)	U = –5,48 p = 0,001	36,24 (25,25; 46,7)	U = –7,03 p = 0,001	37,94 (24,15; 41,62)	U = –10,17 p = 0,001
Контрольная группа / Control group	46,75 (29,81; 55,8)		8,63 (6,58; 11,7)		2,95 (1,71; 5,63)		4,07 (3,43; 5,21)	
Шахтеры со стажем работы 12–20 лет / Miners with 12–20 years of work experience	10,26 (6,5; 12,35)	U = –5,035 p = 0,001	150,07 (112,26; 182,79)	U = –4,437 p = 0,001	38,58 (33,29; 44,68)	U = –6,614 p = 0,001	12,87 (8,41; 14,86)	U = –10,193 p = 0,001
Контрольная группа / Control group	45,3 (32,77; 56,52)		18,46 (13,86; 25,26)		3,54 (2,35; 6,41)		4,76 (3,98; 5,88)	
Шахтеры со стажем работы более 20 лет / Miners with more than 20 years of experience	14,64 (9,43; 17,14)	U = –6,66 p = 0,000	101,26 (71,68; 128,67)	U = –6,94 p = 0,001	23,4 (14,48; 27,81)	U = –6,07 p = 0,001	15,17 (13,23; 17,64)	U = –10,32 p = 0,001
Контрольная группа / Control group	55,75 (50,34; 62,43)		65,98 (59,74; 80,13)		3,77 (3,15; 4,29)		6,25 (5,01; 7,51)	

ческих исследований, представляется возможным рассмотреть фиброзную трансформацию легких, ассоциированную с антракосиликозом, как триггер опухолевого роста.

Лекарственная терапия неоперабельных форм бронхопульмонального рака ингибиторами контрольных точек приводит к увеличению продолжительности жизни только на один-два года [23, 24]. Кроме того, следует отметить экономическую составляющую проблемы лечения злокачественных опухолей легкого на неоперабельной стадии. В связи с этим необходимо осуществление своевременной диагностики онкозаболевания. Выявление субклинических рентгенологических изменений органов грудной клетки в первую очередь должно проводиться у лиц, задействованных на вредных производствах в условиях контакта с вредными производственными факторами.

Основной эффект от проведения расширенного онкоскрининга заключается в выявлении патологии на ранних стадиях, возможности назначения своевременного лечения с сохранением качества жизни. Это позволит минимизировать затраты на оказание специализированной онкологической помощи, снизить длительность временной нетру-

доспособности и уровень инвалидизации населения промышленного города.

Выводы. Анализ показателей среднегодовых концентраций канцерогенных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Новокузнецка в 2018–2022 гг. показал превышение гигиенического норматива по бенз(а)пирену (в 3,5–11,2 раза) и формальдегиду (в 1,7 и 3,4 раза в 2021 и 2022 гг.), повышенные концентрации вредных канцерогенных примесей определяли нарастающие уровни рисков для здоровья жителей промышленного города.

1. Наибольший вклад в формирование уровня суммарного индивидуального канцерогенного риска в 2018–2020 гг. вносил формальдегид (52,6–58,8 %), в 2021 г. наибольший удельный вес имел углерод (сажа), составляя 50,6 %. В 2022 г. вклад формальдегида составил 91,5 %.

2. За 2018–2022 гг. показан прирост случаев заболеваемости раком легких и бронхов жителей Кузбасса, преимущественно мужчин, при этом по состоянию на 2022 г. у 74 % лиц при первичной диагностике заболевание носило условно операбельный или неоперабельный характер.

3. В г. Новокузнецке в 2022 г. высокие уровни заболеваемости и смертности характерны для

возрастной группы лиц старше 50 лет, одногодичная летальность от рака легкого и бронхов составила 46,1 %.

4. Результаты гистологических и иммуногистохимических исследований аутопсийного материала дыхательной системы шахтеров г. Новокузнецка показали высокую активность фибробластических клеток в зонах пневмофиброза с потенциалом малигнизации, что позволяет рассматривать фиброз, ассоциированный с длительным воздействием угольно-породной пыли, как триггер опухолевого роста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Sung H, Ferlay J, Siegel RL, *et al.* Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2021;71(3):209-249. doi: 10.3322/caac.21660
- Мурашко Р.А. Экологические процессы, влияющие на показатели здоровья населения Краснодарского края // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2021. № 1. С. 602–615. doi: 10.24411/2312-2935-2021-00043
- Рябов В.А., Мамасев П.С., Егорова Н.Т. Антропогенная нагрузка на природную среду как фактор, формирующий качество жизни населения индустриального Кузбасса // Экология урбанизированных территорий. 2018. № 2. С. 84–90. doi: 10.24411/1816-1863-2018-12084
- Кузьмин С.В., Додина Н.С., Шашина Т.А., Кислицин В.А., Пинигин М.А., Бударина О.В. Воздействие атмосферных загрязнений на здоровье населения: диагностика, оценка и профилактика // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 10. С. 1145–1150. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1145-1150
- Мякишева Ю.В., Михайлюк Н.А., Федосейкина И.В., Халитова Ю.А., Дудина А.И. Комплексная оценка влияния основных источников выбросов загрязняющих веществ на качество атмосферного воздуха Куйбышевского района городского округа Самара // Экология человека. 2021. Т. 28. № 12. С. 56–64. doi: 10.33396/1728-0869-2021-12-56-64
- Горский А.И., Туманов К.А., Чекин С.Ю., Иванов В.К. Вклад атмосферных техногенных выбросов в заболеваемость раком легкого в Российской Федерации // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102. № 2. С. 106–112. doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-2-106-112
- Ракитский В.Н., Степкин Ю.И., Клепиков О.В., Куролап С.А. Оценка канцерогенного риска здоровью городского населения, обусловленного воздействием факторов среды обитания // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 3. С. 188–195. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-3-188-195
- Колпакова А.Ф., Шарипов Р.Н., Волкова О.А., Колпаков Ф.А. Роль загрязнения воздуха взвешенными частицами в патогенезе онкологических заболеваний // Сибирский онкологический журнал. 2021. Т. 20. № 2. С. 102–109. doi: 10.21294/1814-4861-2021-20-2-102-109
- Фридман Ю.А., Речко Г.Н., Логинова Е.Ю. «Кузбасс» и «уголь» в контексте совершенствования механизмов гармонизации развития // Мир экономики и управления. 2019. Т. 19. № 2. С. 89–98. doi: 10.25205/2542-0429-2019-19-2-89-98
- Ворошилов Я.С., Фомин А.И. Влияние угольной пыли на профессиональную заболеваемость работников угольной отрасли // Уголь. 2019. № 4. С. 20–24. doi: 10.18796/0041-5790-2019-4-20-24
- Batievsky V, Sokolovsky M, Moroz E. Problems of improving the quality of life of miners in mining regions on the example of the Kemerovo region (Kuzbass) and ways to solve them. *E3S Web Conf.* 2021;278:02001. doi: 10.1051/e3sconf/202127802001
- Зибарев Е.В., Вострикова С.М., Кравченко О.К., Бессонова А.К., Никонова С.М. Самооценка уровней воздействия вредных производственных факторов на рабочих местах шахтеров // Экология человека. 2025. Т. 32. № 7. С. 504–516. doi: 10.17816/humeco685787
- Пиктушанская Т.Е., Часовских Е.В., Землякова С.С. Состояние здоровья работников угольной промышленности // Медицина труда и промышленная экология. 2023. Т. 63. № 6. С. 359–366. doi: 10.31089/1026-9428-2023-63-6-359-366
- León-Mejía G, Rueda, RA, Pérez Pérez J, *et al.* Analysis of the cytotoxic and genotoxic effects in a population chronically exposed to coal mining residues. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2023;30(18):54095-54105. doi: 10.1007/s11356-023-26136-9
- Chen YH, Gibb M, Brindley S, Brune J, Brown JM, Tsai C. Respirable mineral dust toxicity across mining locations: A comparative study of field samples in an underground mine. *Sci Total Environ.* 2026;1014:181414. doi: 10.1016/j.scitotenv.2026.181414
- Zhang Y, Yan J, Ren Y, *et al.* Coal dust particles can upregulate the expression of NLRP3 inflammasome components in rat alveolar macrophages through phagocytosis. *Sci Rep.* 2025;15(1):8989. doi: 10.1038/s41598-025-93946-x
- Бабанов С.А., Стрижаков Л.А., Лебедева М.В., Фомин В.В., Будащ Д.С., Байкова А.Г. Пневмокониозы: современные взгляды // Терапевтический архив. 2019. Т. 91. № 3. С. 107–113. doi: 10.26442/00403660.2019.03.000066
- Сидорова Г.П., Крылов Д.А. Проблемы радиационной опасности в угольной энергетике // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 11. С. 200–209. doi: 10.25018/0236-1493-2017-11-0-200-209
- Савченко Я.А., Минина В.И., Баканова М. Л., Глушков А.Н. Генотоксические и канцерогенные эффекты воздействия факторов производственной среды угледобывающей и углеперерабатывающей индустрии // Генетика. 2019. Т. 55. № 6. С. 643–654. doi: 10.1134/S0016675819060158
- Baghy K, Ladányi A, Reszegi A, Kovalszky I. Insights into the tumor microenvironment-components, functions and therapeutics. *Int J Mol Sci.* 2023;24(24):17536. doi: 10.3390/ijms242417536
- Yang D, Liu J, Qian H, Zhuang Q. Cancer-associated fibroblasts: From basic science to anticancer therapy. *Exp Mol Med.* 2023;55(7):1322-1332. doi: 10.1038/s12276-023-01013-0
- Glabman RA, Choyke PL, Sato N. Cancer-associated fibroblasts: Tumorigenicity and targeting for cancer therapy. *Cancers (Basel).* 2022;14(16):3906. doi: 10.3390/cancers14163906
- Girard N, Bar J, Garrido P, *et al.* Treatment characteristics and real-world progression-free survival in patients with unresectable stage III NSCLC who received durvalumab after chemoradiotherapy: Findings from the PACIFIC-R study. *J Thorac Oncol.* 2023;18(2):181-193. doi: 10.1016/j.jtho.2022.10.003
- Garassino MC, Mazieres J, Reck M, *et al.* Durvalumab after sequential chemoradiotherapy in stage III, unresectable NSCLC: The phase 2 PACIFIC-6 trial. *J Thorac Oncol.* 2022;17(12):1415-1427. doi: 10.1016/j.jtho.2022.07.1148

REFERENCES

- Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2021;71(3):209-249. doi: 10.3322/caac.21660
- Murashko RA. Environmental processes affecting the health indicators of the population of the Krasnodar Territory. *Sovremennye Problemy Zdravookhraneniya i Meditsinskoy Statistiki.* 2021;(1):602-615. (In Russ.) doi: 10.24411/2312-2935-2021-00043
- Ryabov VA, Mamasyov PS, Egorova NT. Anthropogenic load on the environment as a factor forming the quality of life of the population of the industrial Kuzbass. *Ekologiya Urbanizirovannykh Territoriy.* 2018;(2):84-90. (In Russ.) doi: 10.24411/1816-1863-2018-12084
- Kuzmin SV, Dodina NS, Shashina TA, Kislitsin VA, Pinigin MA, Budarina OV. The impact of atmospheric pollution on public health: Diagnosis, assessment, and prevention. *Gigiena i Sanitariya.* 2022;101(10):1145-1150. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1145-1150
- Myakisheva YuV, Mikhailuk NA, Fedoseykin IV, Halitova YuA, Dudina AI. Comprehensive assessment of the impact of the main sources of emissions of pollutants on the air quality of the Kuibyshevsky district of Samara. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology).* 2021;(12):56-64. (In Russ.) doi: 10.33396/1728-0869-2021-12-56-64
- Gorski AI, Tumanov KA, Chekin SYu, Ivanov VK. Contribution of atmospheric technogenic emissions to the incidence of lung cancer in the Russian Federation. *Gigiena i Sanitariya.* 2023;102(2):106-112. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-2-106-112
- Rakitskii VN, Stepin Yul, Klepikov OV, Kurolov SA. Assessment of carcinogenic risk caused by the impact of the environmental factors on urban population health. *Gigiena i Sanitariya.* 2021;100(3):188-195. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-3-188-195
- Kolpakova AF, Sharipov RN, Volkova OA, Kolpakov FA. The role of particulate matter air pollution in cancer pathogenesis. *Sibirskiy Onkologicheskii Zhurnal.* 2021;20(2):102-109. (In Russ.) doi: 10.21294/1814-4861-2021-20-2-102-109
- Fridman YuA, Rechko GN, Loginova EYu. "Kuzbass" and "Coal" in the context of perfecting development harmonization mechanisms. *Mir Ekonomiki i Upravleniya.* 2019;19(2):89-98. (In Russ.) doi: 10.25205/2542-0429-2019-19-2-89-98
- Voroshilov YaS, Fomin AI. Impact of coal dust on the professional morbidity of coal industry workers. *Ugol'.* 2019;(4):20-24. (In Russ.) doi: 10.18796/0041-5790-2019-4-20-24
- Batievsky V, Sokolovsky M, Moroz E. Problems of improving the quality of life of miners in mining regions on the example of the Kemerovo region (Kuzbass) and ways to solve them. *E3S Web Conf.* 2021;278:02001. doi: 10.1051/e3sconf/202127802001
- Zibarev EV, Vostrikova SM, Kravchenko OK, Bessonova AK, Nikonova SM. Self-assessment of exposure levels to harmful occupational factors at the workplaces of miners. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology).* 2025;32(7):504-516. (In Russ.) doi: 10.17816/humeco685787
- Piktushanskaya TE, Chasovskikh EV, Zemlyakova SS. Health status of coal industry workers. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya.* 2023;63(6):359-366. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2023-63-6-359-366
- León-Mejía G, Rueda, RA, Pérez Pérez J, et al. Analysis of the cytotoxic and genotoxic effects in a population chronically exposed to coal mining residues. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2023;30(18):54095-54105. doi: 10.1007/s11356-023-26136-9
- Chen YH, Gibb M, Brindley S, Brune J, Brown JM, Tsai C. Respirable mineral dust toxicity across mining locations: A comparative study of field samples in an underground mine. *Sci Total Environ.* 2026;1014:181414. doi: 10.1016/j.scitotenv.2026.181414
- Zhang Y, Yan J, Ren Y, et al. Coal dust particles can upregulate the expression of NLRP3 inflammasome components in rat alveolar macrophages through phagocytosis. *Sci Rep.* 2025;15(1):8989. doi: 10.1038/s41598-025-93946-x
- Babanov SA, Strizhakov LA, Lebedeva MV, Fomin VV, Budash DS, Baikova AG. Pneumoconioses: Modern view. *Terapevticheskiy Arkhiv.* 2019;91(3):107-113. (In Russ.) doi: 10.26442/00403660.2019.03.000066
- Sidorova GP, Krylov DA. Radiation hazard issues in the coal power generation industry. *Gornyy Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten' (Nauchno-Tekhnicheskiy Zhurnal).* 2017;(11):200-209. (In Russ.) doi: 10.25018/0236-1493-2017-11-0-200-209
- Savchenko YA, Minina VI, Bakanova ML, Glushkov AN. Genotoxic and carcinogenic effects of industrial factors in coal mining and coal-processing industry (review). *Russian Journal of Genetics.* 2019;55(6):681-691. doi: 10.1134/S1022795419060140
- Baghy K, Ladányi A, Reszegi A, Kovalszky I. Insights into the tumor microenvironment-components, functions and therapeutics. *Int J Mol Sci.* 2023;24(24):17536. doi: 10.3390/ijms242417536
- Yang D, Liu J, Qian H, Zhuang Q. Cancer-associated fibroblasts: From basic science to anticancer therapy. *Exp Mol Med.* 2023;55(7):1322-1332. doi: 10.1038/s12276-023-01013-0
- Glabman RA, Choyke PL, Sato N. Cancer-associated fibroblasts: Tumorigenicity and targeting for cancer therapy. *Cancers (Basel).* 2022;14(16):3906. doi: 10.3390/cancers14163906
- Girard N, Bar J, Garrido P, et al. Treatment characteristics and real-world progression-free survival in patients with unresectable stage III NSCLC who received durvalumab after chemoradiotherapy: Findings from the PACIFIC-R study. *J Thorac Oncol.* 2023;18(2):181-193. doi: 10.1016/j.jtho.2022.10.003
- Garassino MC, Mazieres J, Reck M, et al. Durvalumab after sequential chemoradiotherapy in stage III, unresectable NSCLC: The phase 2 PACIFIC-6 trial. *J Thorac Oncol.* 2022;17(12):1415-1427. doi: 10.1016/j.jtho.2022.07.1148

Сведения об авторах:

✉ Бугаева Мария Сергеевна – к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических и экспериментальных исследований ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний»; e-mail: bugms14@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3692-2616>.

Бондарев Олег Иванович – д.м.н., доцент, заведующий кафедрой патологической анатомии и судебной медицины Новокузнецкого государственного института усовершенствования врачей – филиала ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; e-mail: gis.bondarev@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5821-3100>.

Герус Анна Юрьевна – к.м.н., научный сотрудник лаборатории охраны здоровья работающего населения ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний»; e-mail: gerus.anny@yandex.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8118-4395>.

Кислицына Вера Викторовна – к.м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории экологии человека и гигиены окружающей среды ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний»; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2495-6731>.

Ликонцева Юлия Сергеевна – научный сотрудник лаборатории экологии человека и гигиены окружающей среды ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний»; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8468-2533>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Бугаева М.С.*; обзор литературы: *Бугаева М.С., Герус А.Ю.*; сбор данных: *Бугаева М.С., Бондарев О.И., Герус А.Ю., Кислицына В.В.*; анализ и интерпретация результатов: *Бугаева М.С., Бондарев О.И., Герус А.Ю., Кислицына В.В., Ликонцева Ю.С.*; редактирование текста: *Бугаева М.С.*; подготовка проекта рукописи: *Бугаева М.С., Бондарев О.И.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требовало заключения этического комитета. В основе изучения бронхолегочной системы шахтеров лежала вторичная экспертиза парафиновых блоков и готовых гистологических микропрепаратов материала бюро судебно-медицинской экспертизы г. Новокузнецка. Первичное патолого-анатомическое исследование материала осуществлялось в соответствии с Федеральным законом от 21.11.2011, № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации», в частности, со статьей 67 «Проведение патолого-анатомических вскрытий», Федеральный закон от 12.01.1996, № 8-ФЗ «О погребении и похоронном деле (статья 5 п. 1, 2), а также на основании Приказа Минздрава России от 29.04.2025 № 261н «Об утверждении Порядка проведения патолого-анатомических вскрытий и унифицированных форм медицинской документации, используемых при проведении патолого-анатомических вскрытий», Приказа Минздрава России от 14.04.2025 № 207н «Об утверждении Правил проведения патолого-анатомических исследований и унифицированных форм медицинской документации, используемых при проведении прижизненных патолого-анатомических исследований».

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 16.05.25 / Принята к публикации: 10.02.26 / Опубликовано: 27.02.26

Author information:

✉ **Maria S. Bugaeva**, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Molecular Genetic and Experimental Studies, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: bugms14@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3692-2616>.

Oleg I. Bondarev, Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Head of the Department of Pathological Anatomy and Forensic Medicine, Novokuznetsk State Institute for Advanced Medical Training – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; e-mail: gis.bondarev@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5821-3100>.

Anna Yu. Gerus, Cand. Sci. (Med.), Researcher, Laboratory for Occupational Safety, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: gerus.anny@yandex.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8118-4395>.

Vera V. Kislitsyna, Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher, Laboratory of Human Ecology and Environmental Health, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2495-6731>.

Julia S. Likontseva, Researcher, Laboratory of Human Ecology and Environmental Health, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8468-2533>.

Author contributions: study conception and design: *Bugaeva M.S.*; data collection: *Bugaeva M.S., Bondarev O.I., Gerus A.Yu., Kislitsyna V.V.*; analysis and interpretation of results: *all authors*; bibliography compilation and referencing: *Bugaeva M.S., Gerus A.Yu.*; draft manuscript preparation: *Bugaeva M.S., Bondarev O.I.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: This study did not require ethics approval. The study of the miners' bronchopulmonary system was based on the secondary examination of paraffin blocks and histological preparations available from the Novokuznetsk Forensic Medical Examination Bureau. The primary pathological examination of the material was carried out in accordance with Federal Law No. 323-FZ of November 21, 2011, On the Fundamentals of Health Protection of Citizens in the Russian Federation, particularly, with Article 67, On Pathological Autopsies; Federal Law No. 8-FZ of January 12, 1996, On Burial and Funeral Services (Article 5, paragraphs 1 and 2), and based on the Order of the Russian Ministry of Health No. 261n of April 29, 2025, On Approval of the Procedure for Conducting Pathological Autopsies and Unified Forms of Medical Documentation Used in Conducting Pathological Autopsies, and the Order of the Russian Ministry of Health No. 207n of April 14, 2025, On Approval of the Rules for Conducting Pathological Research and Unified Forms of Medical Documentation Used in Conducting Intravital Pathological Anatomy Studies.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: May 16, 2025 / Accepted: February 10, 2026 / Published: February 27, 2026



Сравнительная гигиеническая характеристика российских технологий автоклавирования и сжигания медицинских отходов классов Б и В

О.В. МIRONENKO^{1,2}, С.Н. НОСКОВ^{1,3}, Х.К. МАГОМЕДОВ¹, Е.А. ФЕДОРОВА¹, Д.А. ОБУХОВ¹

¹ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Пискаревский проспект, д. 47, г. Санкт-Петербург, 191015, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,

Менделеевская линия, д. 2, г. Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация

³ ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 2-я Советская ул., д. 4, г. Санкт-Петербург, 191036, Российская Федерация

Резюме

Введение. Полная утрата инфекционных свойств и изменение морфологического состава медицинских отходов достигаются преимущественно термическими методами. Однако отсутствует система оценки, позволяющая с учетом преимуществ и недостатков технологий выбрать оптимальный метод обезвреживания медицинских отходов.

Цель исследования. Дать гигиеническую характеристику технологий высокотемпературного и низкотемпературного термического обезвреживания медицинских отходов и оценить их воздействие на атмосферный воздух и здоровье населения в зоне их влияния с целью последующего обоснования комплекса профилактических мероприятий при использовании данных технологий.

Материалы и методы. В 2017–2022 гг. проведены экспериментальные исследования установок пиролизического сжигания и низкотемпературного обезвреживания в г. Санкт-Петербурге. С использованием программы УПРЗА «Эколог» рассчитаны поля рассеивания выбросов установок термического обезвреживания медицинских отходов, максимальные разовые и среднесуточные приземные концентрации загрязняющих веществ, а также выполнена оценка хронического канцерогенного и неканцерогенного риска здоровью населения на основании Р 2.1.10.3968–23.

Результаты. Проведена оценка влияния выбросов установок высоко- и низкотемпературного обезвреживания медицинских отходов на атмосферный воздух и здоровье населения. При пиролизическом сжигании в атмосферу поступает 28 загрязняющих веществ. Максимальные значения канцерогенного риска от высокотемпературной установки достигает бенз(а)пирен, максимальные уровни хронического неканцерогенного риска диоксида серы, взвешенных веществ, азота диоксида и бенз(а)пирена превышают допустимые значения. Для установки пиролизического сжигания установлены неприемлемые уровни неканцерогенного риска: для органов дыхания – 8,07; случаев дополнительной смертности – 6,89; процессов развития – 2,43; кроветворной – 1,18 и иммунной – 1,12 системы. Для низкотемпературной технологии выбросы представлены 7 веществами преимущественно III класса опасности, максимальные значения канцерогенного и неканцерогенного риска не превышают допустимых значений.

Заключение. Наибольшее негативное воздействие на здоровье населения оказывает установка пиролизического сжигания, для его снижения необходим комплекс профилактических мероприятий, обеспечивающий снижение неканцерогенного риска до допустимых значений.

Ключевые слова: оценка риска здоровью, технологии термического обезвреживания, канцерогенный риск, неканцерогенный риск, медицинские отходы, пиролизическое сжигание, автоклавирование.

Для цитирования: МIRONENKO O.B., NOSKOV S.N., MAGOMEDOV X.K., FEDOROVA E.A., OBUKHOV D.A. Сравнительная гигиеническая характеристика российских технологий автоклавирования и сжигания медицинских отходов классов Б и В // Здоровье населения и среда обитания. 2026. Т. 34. № 2. С. 81–92. doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-81-92

Comparative Hygienic Characteristics of Russian Technologies for Autoclaving and Pyrolysis of Categories B and C Medical Waste

Olga V. Mironenko,^{1,2} Sergey N. Noskov,^{1,3} Khamzat K. Magomedov,¹
Ekaterina A. Fedorova,¹ Denis A. Obukhov¹

¹ North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, 41 Kirochnaya Street, Saint Petersburg, 191015, Russian Federation

² St. Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya Embankment, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation

³ North-West Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

Summary

Introduction: The complete elimination of infectious properties and alteration of the morphological composition of medical waste are achieved primarily through thermal treatment methods. However, there exists no assessment system that, given the advantages and drawbacks of each technology, allows for the selection of the optimal waste decontamination technique.

Objective: To provide hygienic characteristics of healthcare waste high- and low-temperature treatment technologies and to assess their impact on ambient air and human health in the affected area in order to substantiate a set of appropriate preventive measures.

Materials and Methods: Between 2017 and 2022, experimental testing of pyrolysis and low-temperature medical waste treatment plants was carried out in St. Petersburg. Using the “Ecolog” unified software for calculating ambient air pollution, we modeled emission dispersion patterns from the thermal treatment installations and determined maximum single and average daily ground-level concentrations of chemicals. Furthermore, a comprehensive assessment of chronic carcinogenic and non-carcinogenic health risks was conducted in accordance with Russian Guidelines R 2.1.10.3968–23.

Results: We assessed the impact of emissions from high- and low-temperature medical waste treatment facilities on ambient air quality and human health. Pyrolysis was found to emit 28 pollutants. The maximum carcinogenic risk from the high-temperature facility was associated with benzo[a]pyrene; the highest chronic non-carcinogenic risk levels from sulfur dioxide, particulate matter, nitrogen dioxide, and benzo[a]pyrene exceeded the permissible limits. Unacceptable levels of

non-carcinogenic risk were established for the pyrolysis plant: 8.07 for the respiratory system; 6.89 for additional death cases; 2.43 for developmental processes; 1.18 for the hematopoietic system, and 1.12 for the immune system. The low-temperature treatment technique was found to emit seven chemicals, predominantly of hazard class III, with maximum carcinogenic and non-carcinogenic risk values below the permissible limits.

Conclusion: The pyrolysis plant poses the highest non-carcinogenic health risks, thus necessitating comprehensive preventive measures aimed to mitigate them to acceptable levels.

Keywords: health risk assessment, thermal treatment technologies, carcinogenic risk, non-carcinogenic risk, medical waste, pyrolysis, autoclaving.

Cite as: Mironenko OV, Noskov SN, Magomedov KhK, Fedorova EA, Obukhov DA. Comparative hygienic characteristics of Russian technologies for autoclaving and pyrolysis of categories B and C medical waste. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2026;34(2):81–92. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-81-92

Введение. Ненадлежащее обращение с медицинскими отходами без эффективного обезвреживания приводит к неблагоприятным последствиям для окружающей среды и здоровья населения [1]. Эффективное обращение с медицинскими отходами включает в себя ряд этапов и действий, но именно применение технологии термического обезвреживания медицинских отходов играет ключевую роль в управлении медицинскими отходами [2–4]. В медицинских организациях образуются различные по фракционному составу и степени опасности медицинские отходы, поэтому управление данной системой на всех этапах становится не только санитарно-эпидемиологической, но и экологической проблемой, оптимальное решение которой напрямую связано с правовыми вопросами [5–11].

Полная утрата инфекционных свойств и изменение морфологического состава медицинских отходов могут быть достигнуты только термическими методами [10]. В России в отношении медицинских отходов класса Б обезвреживание может проводиться в самих медицинских организациях (МО), на специально выделенных площадках или за счет крупных мусоросжигательных центров [1, 12–14].

На сегодняшний день в практике используются следующие термические методы обработки медицинских отходов: на основе применения сухого горячего воздуха, пара под давлением (автоклавирование), СВЧ-технологии, сжигание (классическое и пиролизное сжигание, плазменные технологии) и другие методы обработки (автоматизированная химическая обработка) [2, 14–16].

На современном этапе российский рынок технологий обезвреживания достаточно наполнен, однако каждая из технологий обезвреживания имеет свои достоинства и недостатки [13, 14, 17–19]. Но основными критериями для выбора технологии обезвреживания являются: количество образующихся отходов классов Б или В в год; виды медицинской деятельности; характеристика помещения для размещения участка обезвреживания; близость размещения участка к жилым кварталам и лечебным корпусам и наличие системы экологической безопасности в самой технологии.

Однако отсутствует система оценки, которая позволит, учитывая преимущества и недостатки технологий обезвреживания медицинских отходов, решить, какой метод необходимо применить в каждом конкретном случае [16, 20–26]. В этой связи зарубежные авторы считают приоритетным применение термических методов обезвреживания медицинских отходов, таких как высокотемпературное

сжигание и низкотемпературная обработка методом автоклавирования при воздействии температуры и насыщенного водяного пара под давлением на локальных установках с последующим изменением внешнего вида отходов [2, 10, 13, 16].

Материалы и методы. Исследования проводились на базе установки пиролизного сжигания, расположенной в г. Санкт-Петербурге в период с 2017 по 2021 г. и на базе установки низкотемпературного обезвреживания (воздействие пара под давлением), расположенной в г. Санкт-Петербурге, в период с 2018 по 2022 г.

Первый этап работы включал в себя гигиеническую характеристику технологий автоклавирования и пиролизного обезвреживания.

Установка пиролизного сжигания расположена в г. Санкт-Петербурге. Размер санитарно-защитной зоны 300 м. Температурный режим работы соответствует от 700 до 1200 °С. Производительность установки – 200 кг/час; 1500 тонн в год, от 3 до 5 тонн в сутки. Установка работает на дизельном топливе. Данная установка является установкой по пиролизному сжиганию, которая зарегистрирована на территории РФ и имеет соответствующую разрешительную документацию [12].

Модель установки ИФШД.2061.00.00.000 по обезвреживанию отходов производства и потребления, медицинских и биологических отходов имеет две модификации, состоящие из следующих агрегатов:

1. Базовая: шлюзовое устройство загрузки; камеры термического пиролиза; камеры дожигания; камеры закалки; системы отопления; системы электропитания; системы дымоудаления; автоматизированной системы управления на базе программируемых логических контроллеров.

2. Полная (расширенная): шлюзовое устройство загрузки; камеры термического пиролиза; камеры дожигания; камеры закалки; системы отопления; системы электропитания; системы дымоудаления; автоматизированной системы управления на базе программируемых логических контроллеров; системы дополнительной очистки газообразных выбросов от пыли и хлорида водорода в составе: полусухого скруббера и системы хранения / подачи рабочего раствора.

Принцип работы установки основан на применении термического пиролиза с системой дожигания отходящих газов. Установка обеспечивает разложение отходов под действием тепла без доступа кислорода, что позволяет избежать образования диоксинов, фуранов и пр. В результате пиролиза получают газообразные продукты, которые поступают в камеру дожигания, где полностью

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-81-92>
Оригинальная исследовательская статья

окисляются при высокой температуре. Затем продукты пиролиза разбавляются воздухом и выбрасываются в атмосферу.

Установка «Балтнер», расположенная в многопрофильном стационаре г. Санкт-Петербурга, предназначена для утилизации медицинских отходов классов Б и В путем термического обеззараживания (воздействие горячим паром при температуре 114 °С под давлением в условиях вакуума) с последующим прессованием. Данный метод обеспечивает полную дезинфекцию всех видов медицинских отходов и утрату их товарных свойств. При дезинфекции паром в условиях вакуума обеспечивается проникновение пара во все полости дезинфицируемого материала, что обеспечивает равномерное уничтожение болезнетворных бактерий. Данная установка зарегистрирована на территории РФ и имеет соответствующую разрешительную документацию.

Вторым этапом была оценка технологии высокотемпературного обезвреживания – пиролизического сжигания (ИФШД.2061.00.00.000) и низкотемпературного обезвреживания – воздействие пара под давлением (Балтнер). Для оценки количественного и качественного воздействия установок термического обезвреживания медицинских отходов на атмосферный воздух и выбора приоритетных загрязнителей для последующей оценки их воздействия на здоровье были использованы протоколы производственного контроля аккредитованных лабораторий.

Расчет среднегодовых концентраций выполнен в унифицированной программе расчета загрязнения атмосферного воздуха «Эколог» фирмы Интеграл (версия 4.6), с модулем расчетного блока «Средние 4.6», который предназначен для определения концентраций химических веществ в атмосферном воздухе, осредненных за длительный период. Расчетные точки были выбраны на ближайшей нормируемой территории. Для расчета среднегодовых концентраций установки пиролизического сжигания на границе жилой застройки (в зоне влияния установок по обезвреживанию медицинских отходов) выбраны шесть точек, а для расчета среднегодовых концентраций установки автоклавирования на границе жилой застройки выбраны три точки.

В соответствии с Руководством Р 2.1.10.3968–23¹ проведена оценка риска здоровью населения, проживающего в зоне воздействия технологий термического обезвреживания медицинских отходов, которая включает в себя несколько последовательных этапов [27–32]. На первом этапе оценке риска собраны и проанализированы данные о химических веществах, выбрасываемых в атмосферный воздух, оценено и их потенциально вредных воздействиях на здоровье населения в зоне функционирования установок термического медицинских отходов, определен предварительный сценарий и маршруты их воздействия, все химические вещества на основе рассчитанных индексов проранжированы по степени сравнительной канцерогенной и неканцерогенной опасности, определены наиболее опасные загрязни-

тели, представляющие угрозу здоровью населения, для дальнейшей оценки экспозиции, зависимости «доза-эффект», расчета и характеристики рисков.

Количественная оценка риска развития неканцерогенных эффектов при хроническом ингаляционном воздействии рассчитывалась по величине коэффициента опасности (HQ). Для оценки одновременного поступления нескольких химических веществ по их неканцерогенным эффектам использовался индекс опасности (HI).

Статистическая обработка полученных данных выполнялась на персональном компьютере с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office (2020 г.). Статистический анализ проводился с использованием языка статистического программирования R (версия 4.1.2). Для обработки результатов исследований использовались методы описательной статистики: оценивалась характеристика изучаемой выборки, вычислялись среднее арифметическое со стандартной ошибкой средней и стандартное отклонение, для оценки средних тенденций использовалась медиана (Md); для оценки изменчивости признаков – нижний (Q1) и верхний (Q3) квартили. Для определения достоверности различия результатов применялись значения непараметрического U-критерия Манна – Уитни. Минимальным уровнем значимости принималось значение 0,05.

Результаты. При эксплуатации технологии пиролизического сжигания в атмосферу Санкт-Петербурга выбрасываются 28 загрязняющих веществ, в том числе 13 твердых и 15 газообразных, 8 групп веществ, обладающих эффектом комбинированного вредного действия (табл. 1). По классам опасности: 7 – первого, 9 – второго, 8 – третьего, 4 – четвертого класса.

Средняя суммарная масса выбросов загрязняющих веществ для установки пиролизического сжигания медицинских отходов составляет: 9 461 535 т/год, из них: твердых – 4 462 538 т/год, жидких и газообразных – 4 998 997 т/год. Основной объем валового выброса (99,97 %) составляют взвешенные вещества – 47,15 %, сера диоксид – 29,41 %, азота диоксид (диоксид азота; пероксид азота) – 23,18 %, азот (II) оксид (азот монооксид) – 0,14 %, вклад остальных 24 веществ составляет 0,12 %.

Из всех перечисленных выше химических веществ существенный вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят: азота диоксид, азот (II) оксид, сера диоксид и взвешенные вещества, их необходимо учитывать и включать в программу производственного контроля установок пиролизического сжигания, а также учитывать при организации мониторинга атмосферного воздуха в зоне работы данной установки. Также в обязательный перечень следует внести химические вещества, образующиеся при сжигании полимерных медицинских отходов: диоксины и бенз(а)пирен.

Для дальнейшей оценки негативного влияния установки высокотемпературного обезвреживания медицинских отходов на здоровье населения из 28 загрязняющих веществ выбраны 13 приоритетных

¹ Руководство Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2023. 320 с.

Таблица 1. Суммарная масса выбросов по приоритетным загрязняющим веществам от установки пиролизического сжигания**Table 1. Total mass of emissions from the pyrolysis plant by priority pollutants**

Код / Code	Загрязняющие вещества / Pollutants	Масса выбросов, т/год / Emissions mass, tons per year	Md [Q1;Q3]	Класс опасности / Hazard Class
133	Кадмий оксид / Cadmium oxide	0,000053	0,0000584 [0,0000351; 0,0000655]	1
183	Ртуть / Mercury	0,000681	0,000661 [0,000585; 0,000818]	1
301	Азота диоксид / Nitrogen dioxide	2193,251	2249,695 [1951,162; 2479,414]	3
304	Азот (II) оксид / Nitrogen monoxide	13,316	12,476 [10,991; 15,371]	3
316	Гидрохлорид / Hydrochloride	0,013316	0,014353 [0,008527; 0,017603]	2
330	Сера диоксид / Sulfur dioxide	2782,236	2730,099 [2426,637; 3184,37715]	3
342	Фтористые газообразные соединения / Gaseous fluorine compounds	0,006392	0,006425 [0,005457; 0,007645]	2
703	Бенз/а/пирен / Benzo[a]pyrene	0,052	0,055 [0,041; 0,066]	1
416	Смесь предельных углеводородов $C_6H_{14} - C_{10}H_{22}$ / Mixture of saturated hydrocarbons from $C_6H_{14} - C_{10}H_{22}$	0,002957	0,002701 [0,002309; 0,003297]	3
415	Смесь предельных углеводородов $C_1H_4 - C_5H_{12}$ / Mixture of saturated hydrocarbons from $C_1H_4 - C_5H_{12}$	0,000862	0,000858 [0,000529; 0,001122]	4
3620	Диоксины / Dioxins	1,14E-08	1,19E-08 [8,725-09; 1,3675-08]	1
2902	Взвешенные вещества / Particulate matter	4461,403	4436,128 [4085,646; 4948,431]	3
2754	Алканы С 12-19 (в пересчете на С) / Alkanes C 12-19 (expressed as C)	2,871	2,484 [1,821-3,799]	4

компонентов на основании количественных показателей и степени их токсического воздействия, представленных в табл. 1.

От установки низкотемпературного воздействия в атмосферный воздух поступает семь загрязняющих компонентов, объемы и вклад которых представлены в табл. 2. Выбросы загрязняющих веществ представлены в основном веществами III класса опасности (умеренно опасные) – 61,09 %, выбросы чрезвычайно опасных веществ (I класс) отсутствовали.

Из всех перечисленных выше химических веществ существенный вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят: метилбензол, 2-бутоксизанол, бутан-1-ол, бензол, пропан-1-ол, этилбензол, ди-

метилбензол, их необходимо учитывать и включать в программу производственного контроля установок автоклавирования, а также учитывать при организации мониторинга атмосферного воздуха в зоне работы данной установки.

Определение гигиенической приоритетности примесей, выбрасываемых в атмосферный воздух, осуществлялось в соответствии с методикой расчета ранговых индексов канцерогенной и неканцерогенной опасности содержащихся в выбросах веществ, принятой в Руководстве по оценке риска Р 2.1.10.3968–23². В результате первого этапа выявлено 6 химических веществ в выбросах установки сжигания медицинских отходов, которые по данным СанПиН 1.2.3685–21³, Р 2.1.10.3968–23

Таблица 2. Объем валового выброса от установки низкотемпературного обезвреживания медицинских отходов**Table 2. Gross emissions from the low-temperature medical waste treatment unit**

Код / Code	Наименование вещества / Chemical	Класс опасности / Hazard Class	Валовый выброс, т/г / Gross Emission, tons per year	Вклад, % / Contribution, %	Ранг / Rank
1140	2-Бутоксиэтанол / 2-Butoxyethanol	–	665,825	29,8	1
621	Метилбензол (Фенилметан) / Methylbenzene (Phenylmethane)	3	369,9	16,56	2
1042	Бутан-1-ол (Бутиловый спирт) / Butan-1-ol (Butyl alcohol)	3	332,9	14,9	3
1054	Пропан-1-ол / Propan-1-ol	3	258,925	11,59	4
616	Диметилбензол (смесь о-, м-, п-изомеров) (Метилтолуол) / Dimethylbenzene (mixture of o-, m-, p-isomers) (Methyltoluene)	3	218,25	9,769	5
602	Бензол (Циклогексатриен; фенилгидрид) / Benzene (Cyclohexatriene; phenyl hydride)	2	184,95	8,278	6
627	Этилбензол (Фенилэтан) / Ethylbenzene (Phenylethane)	3	184,95	8,278	6
1061	Этанол (Этиловый спирт; метилкарбинол) / Ethanol (Ethyl alcohol; methylcarbinol)	4	18,5	0,828	8

² Руководство Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания».

³ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. 668 с.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-81-92>

Оригинальная исследовательская статья

и Международного агентства по изучению рака при ингаляционном пути поступления в организм обладают канцерогенным действием: сера диоксид, ртуть, оксид кадмия, гидрохлорид (водород хлорид), бенз/а/пирен, диоксины. Фактор канцерогенного потенциала (SFi) разработан только для 3 канцерогенов (оксид кадмия, бенз/а/пирен, диоксины). В выбросах установки низкотемпературного воздействия присутствуют 5 канцерогенов: диметилбензол, бензол, метилбензол, 2-бутоксизтанол, этилбензол. Но только для бензола и этилбензола существует фактор канцерогенного потенциала (SFi).

На основании выполненного количественного и качественного анализа промышленных выбросов для дальнейшей оценки риска от установки вы-

сокотемпературного воздействия выбрано 7 приоритетных загрязняющих веществ, в том числе 3 канцерогена; от установки автоклавирования – 7 химических веществ, в том числе 3 канцерогена.

С учетом выбранного сценария осуществлялся анализ имеющихся данных об уровнях хронического воздействия химических веществ на человека – концентрациях загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в предполагаемых точках воздействия (расчетных точках), координаты расчетных точек и их расположение представлены в табл. 3.

Следующим этапом работы стал расчет среднегодовых концентраций химических веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух, в расчетных точках на границе жилой застройки (табл. 4).

Таблица 3. Координаты расчетных точек и их расположение

Table 3. Coordinates of measurement points and their location

№	Координаты точки (m) / Point coordinates (m)		Расположение точки / Location of the point
	X	Y	
Установка пиролизического сжигания / Pyrolysis plant			
1	1441,4	271,4	Жилой дом (пр. Обуховской обороны, д. 144) / Residential building (144 Obukhovskoy Oborony Avenue)
2	184,1	1422,3	Жилой дом (3-й Рабфаковский пер., д. 5, корп. 3) / Residential building (Bldg 3, 5, 3 rd Rabfakovsky Lane)
3	295	1340,6	Центр социальной реабилитации инвалидов Невского района / Nevsky District Center for Social Rehabilitation of People with Disabilities
4	62,1	1412,1	СНТ «Звездочка», 72 / 72, Zvezdochka community garden
5	−1653	−719	Жилой дом (ул. Малая Карпатская, д. 23, к. 1) / Residential building (Bldg 1, 23 Malaya Karpatskaya Street)
6	−2231,4	546,4	Жилой дом (Дунайский пр., д. 55, к. 1) / Residential building (Bldg 1, 55 Dunaisky Avenue)
Установка автоклавирования / Autoclave			
1	675,40	559,40	Жилой дом (Арсенальная улица, д. 1, лит. А) / Residential building (1A Arsenalnaya Street)
2	679,00	638,90	Жилой дом (Кондратьевский проспект, д. 1, лит. А) / Residential building (1A Kondratievsky Avenue)
3	336	500	Жилой дом (ул. Комсомола, д. 5) / Residential building (5 Komsomol Street)

Таблица 4. Значения концентраций загрязняющих компонентов в расчетных точках

Table 4. Ranges of pollutant concentrations at measurement points

Код / Code	Наименование вещества / Chemical	На жилой территории / In a residential area	
		мин / min	макс / max
Установка пиролизического сжигания / Pyrolysis plant			
301	Азота диоксид / Nitrogen dioxide	1,4E-02	4,7E-02
133	Кадмий оксид / Cadmium oxide	3,3E-10	1,1E-09
330	Сера диоксид / Sulfur dioxide	1,7E-02	5,9E-02
2902	Взвешенные вещества / Particulate matter	0,028	0,095
304	Азот оксид / Nitrogen oxide	8,4E-05	2,8E-04
3620	Диоксины / Dioxins	7,2E-14	2,4E-13
703	Бенз(а)пирен / Benzo[a]pyrene	3,3E-07	1,1E-06
Установка автоклавирования / Autoclaving installation			
1140	2-Бутоксиэтанол / 2-Butoxyethanol	0,003	0,020
621	Метилбензол / Methylbenzene	0,002	0,011
1042	Бутан-1-ол / Butan-1-ol	2,0E-03	1,0E-02
1054	Пропан-1-ол / Propan-1-ol	1,0E-03	8,0E-03
616	Диметилбензол / Dimethylbenzene	1,0E-03	6,0E-03
627	Этилбензол / Ethylbenzene	8,5E-06	5,0E-05
602	Бензол / Benzene	8,5E-06	5,0E-05

Характеристика канцерогенного и неканцерогенного риска проводилась с использованием среднегодовых концентраций, полученных в результате моделирования распространения и поведения химических веществ в атмосферном воздухе.

От установки пиролизического сжигания в расчетных точках оценивали вероятность развития индивидуального канцерогенного риска от воздействия кадмий оксида, бенз/а/пирена, диоксинов; от установки автоклавирования – от воздействия бензола, этилбензола.

Максимальные значения канцерогенного риска в расчетных точках от установки высокотемпературного обезвреживания у бенз/а/пирена достигли значения $1,25\text{E}-06$ и соответствуют второму диапазону риска. От диоксинов они достигают значения $1,04\text{E}-08$, оксида кадмия – $2,04\text{E}-09$, что соответствует первому диапазону риска (рис. 1).

Максимальные значения канцерогенного риска от установки низкотемпературного обезвреживания от воздействия этилбензола в расчетных точках достигают значения $5,5\text{E}-08$; от бензола – $3,8\text{E}-07$, что соответствует первому диапазону риска (рис. 2).

Изучение степени выраженности токсических свойств загрязняющих веществ, выбрасываемых

в атмосферный воздух от установки пиролизического сжигания медицинских отходов по величине индекса сравнительной неканцерогенной опасности показало, что 99,99 % вклада в суммарный индекс неканцерогенной опасности вносят 5 веществ: взвешенные вещества, сера диоксид, азота диоксид (диоксид азота, пероксид азота), бенз(а)пирен, азот (II) оксид (азот монооксид). Вклад остальных 8 веществ составляет 0,01 %.

Величина индекса сравнительной неканцерогенной опасности от автоклавирования показала, что 99,96 % вклада в суммарный индекс неканцерогенной опасности вносят 7 веществ: диметилбензол, бензол, пропан-1-ол, этилбензол, 2-бутоксизанол, метилбензол, бутан-1-ол, вклад оставшегося этанола составляет 0,04 %.

На основании анализа системной и органотропной направленности действия выбранных приоритетных загрязняющих веществ в выбросах высокотемпературного обезвреживания прежде всего прогнозируется увеличение общетоксических эффектов на органы дыхания; в выбросах установок низкотемпературного обезвреживания в первую очередь возможно увеличение общетоксических эффектов, проявляющихся со стороны органов центральной нервной системы.

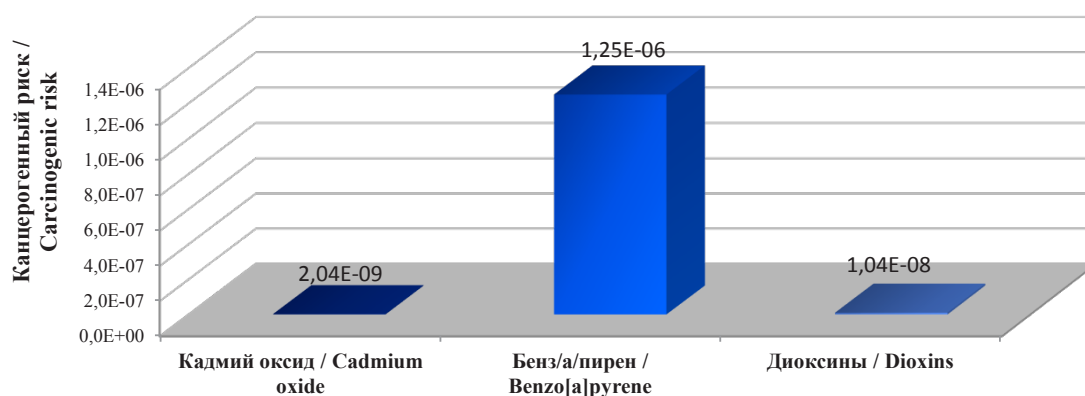


Рис. 1. Максимальные значения индивидуального канцерогенного риска в расчетных точках при воздействии установки по пиролизическому сжиганию медицинских отходов

Fig. 1. Maximum values of individual carcinogenic risk at measurement points affected by pyrolysis emissions

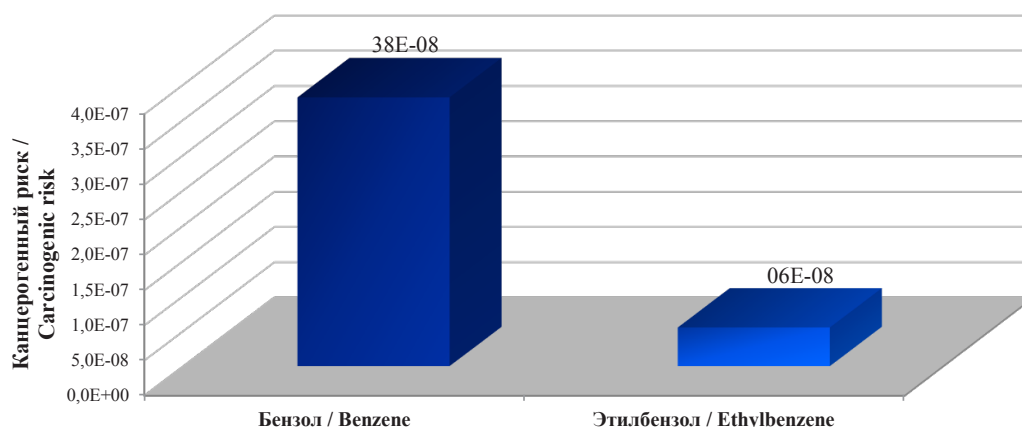


Рис. 2. Максимальные значения индивидуального канцерогенного риска в расчетных точках при воздействии установки автоклавирования

Fig. 2. Maximum values of individual carcinogenic risk at measurement points affected by autoclave emissions

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-81-92>
Оригинальная исследовательская статья

Количественная оценка риска развития неканцерогенных эффектов при хроническом ингаляционном воздействии рассчитывалась по величине коэффициента опасности (HQ). Для оценки одновременного поступления нескольких химических веществ по их неканцерогенным эффектам использовался индекс опасности (HI).

Вероятность развития неканцерогенных эффектов в расчетных точках была оценена по воздействию от всех приоритетных веществ. Рассчитаны хронический неканцерогенный риск в расчетных точках для приоритетных загрязняющих веществ и суммарные индексы опасности при воздействии на критические органы и системы, оценено влияние выбросов на процессы развития. Суммарные индексы опасности при воздействии на основные критические органы и системы представлены на рис. 3–4.

Оценка хронического неканцерогенного риска показала, что при воздействии установки пиролизного сжигания медицинских отходов уровни риска от воздействия оксида кадмия, оксида азота и диоксинов на рассматриваемой территории не превышают допустимых значений риска. Максимальные уровни хронического неканцерогенного риска от воздействия диоксида серы превышают допустимые значения риска и составляют значение 2,95; от воздействия взвешенных веществ – 1,27; от воздействия азота диоксида – 1,18; от воздействия бенз(а)пирена – 1,12.

Величины суммарных индексов опасности по влиянию на эндокринную и репродуктивную систе-

мы, почки, печень, а также на системный эффект не превышают допустимых значений. Максимальные показатели суммарных индексов опасности по влиянию на органы дыхания превышают допустимые значения и составляют 8,07; по влиянию на случаи дополнительной смертности – 6,89; по влиянию на процессы развития – 2,43; по влиянию на кроветворную систему – 1,18; по влиянию на иммунную систему – 1,12. Для остальных органов и систем значения риска не превысят $6,3E-05$. Данные уровни риска были оценены как неприемлемые для населения.

Оценка хронического неканцерогенного риска показала, что при воздействии установок низкотемпературного обезвреживания уровни риска от воздействия всех приоритетных загрязняющих веществ не превышают допустимых значений. Максимальные значения коэффициентов опасности в расчетных точках при хроническом воздействии загрязняющих веществ обусловлены воздействием диметилбензола – 0,060.

Величины суммарных индексов опасности на все приоритетные органы и системы не превышают допустимых значений. Максимальное значение индекса опасности воздействия в расчетных точках составляют для центральной нервной системы – 0,069; для органов дыхательной системы – 0,062; для влияния на почки и печень – 0,06; для остальных органов и систем значения риска не превысят 0,0038.

Обсуждение

Сравнительная оценка суммарных индексов опасностей технологий высокотемпературного

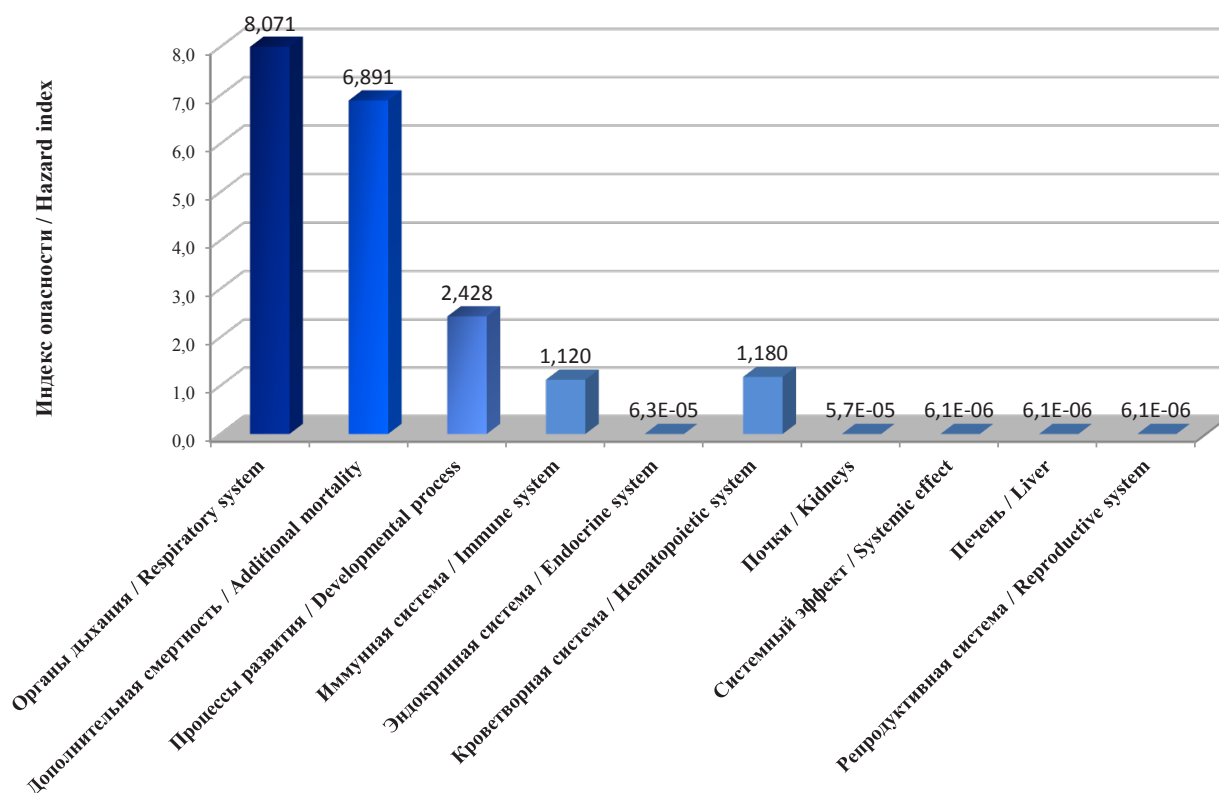


Рис. 3. Максимальные значения суммарных индексов опасностей по влиянию на критические органы и системы при одновременном поступлении приоритетных загрязнителей установки пиролизного сжигания

Fig. 3. Maximum values of total hazard indices for effects on critical organs and systems of the combined exposure to priority pollutants from the pyrolysis plant

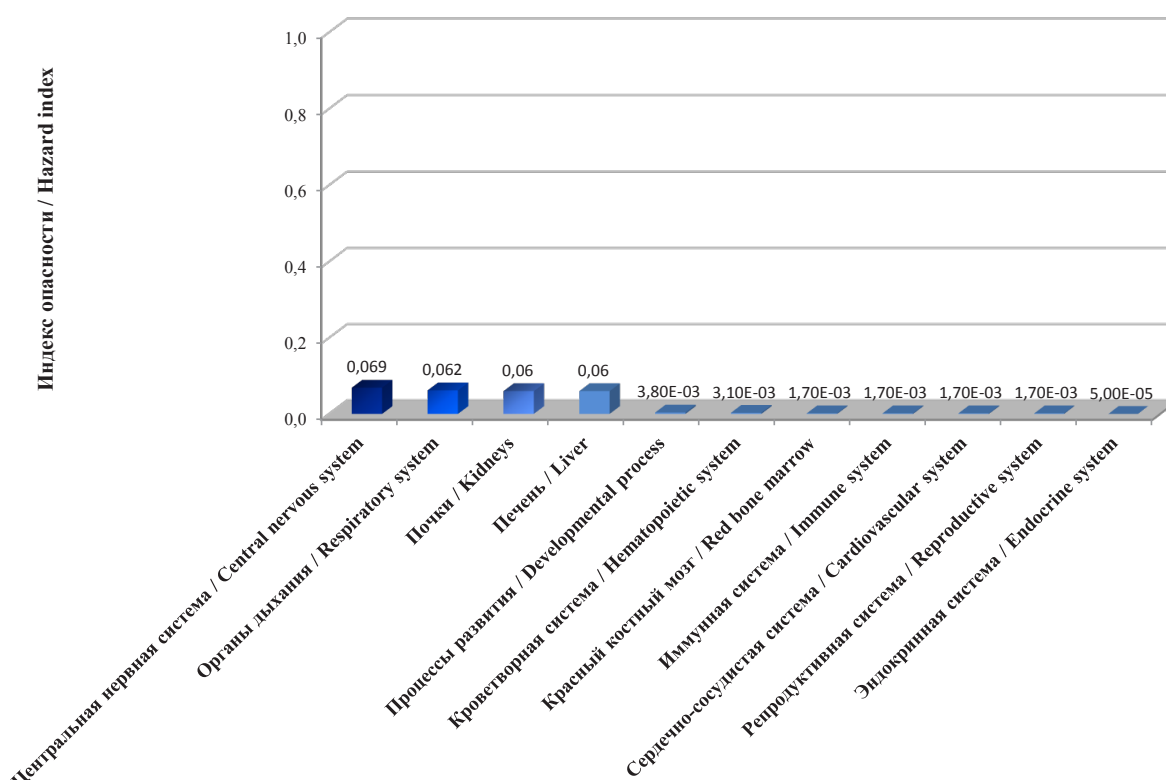


Рис. 4. Максимальные значения суммарных индексов опасностей по влиянию на критические органы и системы при одновременном поступлении приоритетных от установок низкотемпературного обезвреживания медицинских отходов

Fig. 4. Maximum values of total hazard indices for effects on critical organs and systems of the combined exposure to priority pollutants from the low-temperature medical waste treatment unit

обезвреживания показала, что более выраженное негативное воздействие на здоровье населения оказывает установка пиролизического сжигания, постоянное мониторингирование уровней выбросов и данных лабораторного контроля позволит удерживать канцерогенный риск на уровне приемлемого, а неканцерогенный риск позволит снизить до допустимых значений.

Оценка канцерогенного риска для здоровья населения, проживающего в зоне воздействия загрязненного атмосферного воздуха, от установок термического обезвреживания показала, что привносимый риск от установки пиролизического сжигания связан с поступлением в воздух таких канцерогенов, как кадмия оксид, бенз(а)пирена и диоксинов, и не превышает приемлемое значение, а привносимый риск от установки автоклавирования формируется бензолом и этилбензолом и не превышает допустимых значений.

Оценка хронического неканцерогенного риска от установки пиролизического сжигания позволила установить максимальные значения значимых коэффициентов опасности для диоксида серы, бенз(а)пирена, взвешенных веществ и диоксид азота, при этом, согласно индексам опасности, можно ожидать хроническое воздействие на органы дыхания, случаи дополнительной смертности, процессы развития, иммунную и кроветворную системы (данные уровни риска оцениваются как неприемлемые для населения). Данные компоненты должны быть включены в программу производственного контроля и по-

стоянно подвергаться мониторингу в атмосферном воздухе жилой застройки, расположенной вблизи зоны работы установки сжигания.

Оценка хронического неканцерогенного риска показала, что при воздействии установки низкотемпературного обезвреживания уровни риска от воздействия всех приоритетных загрязняющих веществ не превышают допустимых значений. Величины суммарных индексов опасности на все приоритетные органы и системы не превышают допустимых значений.

В отечественной научной литературе отсутствуют полноценные публикации, в которых представлены результаты исследований воздействия атмосферных выбросов технологий термического обезвреживания медицинских отходов на здоровье населения. Согласно зарубежным исследованиям, образующиеся при сжигании медицинских отходов токсические вещества достоверно повышают следующие воздействия на популяцию: канцерогенное, тератогенное, могут являться триггерами аутоиммунных заболеваний, влияют и на развитие и функционирование плаценты, а также эндокринную систему [33, 34]. По результатам научных исследований, длительное воздействие низких уровней диоксинов приводит к ухудшению работы иммунной системы, нарушениям со стороны нервной, эндокринной систем и репродуктивной функции, а краткосрочное воздействие высоких уровней загрязнения может приводить к повреждению кожных покровов и к изменению функции печени [33, 34]. Исходы, с которыми

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-81-92>

Оригинальная исследовательская статья

обнаружена значительная связь, представляют собой серьезные и потенциально негативные последствия для здоровья населения, требующие тщательного рассмотрения и планирования для снижения рисков [33, 34].

Для снижения негативного воздействия установки пиролизического сжигания на окружающую среду необходимо организовать комплекс профилактических мероприятий, который должен включать следующие мероприятия:

– архитектурно-планировочные (установление границы СЗЗ по критерию приемлемого неканцерогенного риска, высота трубы должна достигать не менее 10 метров);

– санитарно-технологические (установка дополнительных модулей очистки отходящих газов);

– санитарно-технические (бесперебойная работа установки – 24 часа, своевременное техническое обслуживание – не реже 1 раза в месяц, непрерывная подача отходов);

– организационные (уменьшение доли полимерных отходов, направляемых на сжигание, применение низкотемпературных технологий для обезвреживания полимерных медицинских отходов, организация обоснованной системы лабораторного производственного контроля и программы наблюдения за качеством атмосферного воздуха при проведении СГМ таких компонентов, как кадмия оксид, бенз(а)пирен, диоксинов, диоксид серы, взвешенные вещества и диоксид азота).

Заключение. Данное исследование демонстрирует преимущество низкотемпературного обезвреживания отходов над высокотемпературными методами в гигиеническом аспекте, так как оценка риска здоровью показала, что при воздействии установок низкотемпературного обезвреживания уровни риска от воздействия всех приоритетных загрязняющих веществ, как и величины суммарных индексов, не превышают допустимых значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мозжухина Н.А., Никонов В.А., Ялда К.Д., Еремин Г.Б. Экологические и гигиенические аспекты обращения с медицинскими отходами // *Здоровье – основа человеческого потенциала: проблема и пути их решения*. 2017. Т. 12. № 2. С. 518-526.
2. Li H, Li J, Zhang Z, Cao X, Zhu J, Chen W. Establishing an interval-valued fuzzy decision-making method for sustainable selection of healthcare waste treatment technologies in the emerging economies. *J Mater Cycles Waste Manag*. 2020;22:501-514. doi: 10.1007/s10163-019-00943-0
3. Das AK, Islam MN, Billah MM, Sarker A. COVID-19 pandemic and healthcare solid waste management strategy – A mini-review. *Sci Total Environ*. 2021;778:146220. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146220
4. Mazzei HG, Specchia S. Latest insights on technologies for the treatment of solid medical waste: A review. *J Environ Chem Eng*. 2023;11(2):109309. doi: 10.1016/j.jece.2023.109309
5. Киек О.В., Полупанова Н.В., Черняева Н.О. и др. Обращение с медицинскими отходами в условиях современного здравоохранения – проблемы и пути решения // *Кубанский научный медицинский вестник*. 2022. Т. 29. № 3. С. 121-134. doi: 10.25207/1608-6228-2022-29-3-121-134
6. Русаков Н.В., Щербо А.П., Мироненко О.В. Обращение с медицинскими отходами: идеология, гигиена и экология // *Экология человека*. 2018. № 7. С. 4-10.
7. Cesaro A, Belgioirno V. Sustainability of medical waste management in different sized health care facilities. *Waste Biomass Valor*. 2017;8(5):1819-1827. doi: 10.1007/s12649-016-9730-y
8. Eren E, Tuzkaya UR. Occupational health and safety-oriented medical waste management: A case study of Istanbul. *Waste Manag Res*. 2019;37(9):876-884. doi: 10.1177/0734242X19857802
9. Щербо А.П., Мироненко О.В. Проблемы обращения с медицинскими отходами // *Биосфера*. 2013. Т. 5. № 4. С. 419-425.
10. Зудинова Е.А., Тимофеева Т.В., Акимкин В.Г. Мероприятия по внедрению централизованной системы обезвреживания/обезвреживания медицинских отходов в Москве // *Здоровье населения и среда обитания*. 2016. № 12 (285). С. 40-43.
11. Мироненко О.В., Щербо А.П., Суций К.К., Козырин К.И., Сопрун Л.А. Эколого-гигиенические предпосылки и инженерные подходы к управлению медицинскими отходами // *Экология человека*. 2013. № 6. С. 19-24.
12. Мироненко О.В., Сопрун Л.А., Суворова О.К., Носков С.Н., Магомедов Х.К., Федорова Е.А., Степанян А.А. Гигиеническая оценка технологий пиролизического сжигания медицинских отходов классов Б и В // *Профилактическая и клиническая медицина*. 2020. № 4(77). С. 46-56.
13. Хурцилава О.Г., Мироненко О.В., Носков С.Н., Магомедов Х.К., Панькин А.В., Федорова Е.А., Обухов Д.А., Суворова О.К. Сравнительная оценка канцерогенного риска, возникающего при выбросах в атмосферный воздух продуктов высокотемпературного и низкотемпературного обезвреживания медицинских отходов // *Гигиена и санитария*. 2023. Т. 102. № 8. С. 750-756. doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-8-750-756
14. Мироненко О.В., Хурцилава О.Г., Киселев А.В., Федорова Е.А., Обухов Д.А. Сравнительная характеристика неканцерогенного риска здоровью населения при низкотемпературном и высокотемпературном обезвреживании медицинских отходов // *Профилактическая и клиническая медицина*. 2023. № 2(87). С. 13-22. doi: 10.47843/2074-9120_2023_2_13
15. Voudrias EA. Technology selection for infectious medical waste treatment using the analytic hierarchy process. *J Air Waste Manag Assoc*. 2016;66(7):663-672. doi: 10.1080/10962247.2016.1162226
16. Bucătaru C, Săvescu D, Repanovici A, Blaga L, Coman E, Cocuz ME. The implications and effects of medical waste on development of sustainable society – A brief review of the literature. *Sustainability*. 2021;13(6):3300. doi: 10.3390/su13063300
17. Tait PW, Brew J, Che A, et al. The health impacts of waste incineration: A systematic review. *Aust N Z J Public Health*. 2020;44(1):40-48. doi: 10.1111/1753-6405.12939
18. Степкин Ю.И., Гайдукова Е.П. Оценка и управление риском при обращении с отходами // *Гигиена и санитария*. 2018. № 97(8). С. 693-698.
19. Киселев А.В., Григорьева Я.В. Применение результатов расчета загрязнения атмосферного воздуха для социально-гигиенического мониторинга // *Гигиена и санитария*. 2017. Т. 96. № 4. С. 306-309.
20. Алексахина В.В. Экология города. Мусоросжигательные заводы // *Academia*. Архитектура и строительство. Российская академия архитектуры и строительных наук Москва. 2014. № 4. С. 10.

21. Han J, Liang Y, Hu J, *et al.* Modeling downdraft biomass gasification process by restricting chemical reaction equilibrium with Aspen Plus. *Energy Convers Manag.* 2017;153:641-648. doi: 10.1016/j.enconman.2017.10.030
22. Han J, Li W, Liu D, Qin L, Chen W, Xing F. Pyrolysis characteristic and mechanism of waste tyre: A thermogravimetry-mass spectrometry analysis. *J Anal Appl Pyrolysis.* 2017;129:1-5. doi: 10.1016/j.jaap.2017.12.016
23. Han J, Zhang L, Lu Y, Hu J, Cao B, Yu F. The effect of syngas composition on the Fischer Tropsch synthesis over three-dimensionally ordered macro-porous iron based catalyst. *Mol Catal.* 2017;440:175-183. doi: 10.1016/j.mcat.2017.07.025
24. Shaik SR, Mahalingam AK, Palanisamy M, Kalita PCh. Comprehensive review on medical waste incineration. *Int J Global Warm.* 2022;27(1):16. doi: 10.1504/IJGW.2022.122793
25. Giakoumakis G, Politi D, Sidiras D. Medical waste treatment technologies for energy, fuels, and materials production: A review. *Energies.* 2021;14(23):8065. doi: 10.3390/en14238065
26. Windfeld ES, Brooks MS. Medical waste management – A review. *J Environ Manage.* 2015;163:98-108. doi: 10.1016/j.jenvman.2015.08.013
27. Долгушина Н.А., Кувшинова И.А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха промышленных городов Челябинской области и неканцерогенных рисков здоровью населения // Экология человека. 2019. № 6-7. С. 17-22.
28. Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Авалиани С.Л. и др. Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения и пути ее совершенствования // Анализ риска здоровью. 2015. № 2. С. 4-11.
29. Рахманин Ю.А., Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Авалиани С.Л., Буштуева К.А. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: НИИЭЧ и ГОС. 2002: 408.
30. Щербо А.П., Киселев А.В. Оценка риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье. СПб: 2005. С. 92.
31. Попова А.Ю. и др. Современные вопросы оценки и управления риском для здоровья // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 12. С. 1125-1129.
32. МIRONENKO O.B., Киселев А.В., Носков С.Н. и др. Прогнозирование заболеваемости и оценка риска здоровью при выполнении гигиенических исследований, связанных с химическими факторами воздействия // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2017. Т. 12. № 4. С. 419-428.
33. Krieg SA, Shahine LK, Lathi RB. Environmental exposure to endocrine-disrupting chemicals and miscarriage. *Fertil Steril.* 2016;106(4):941-947. doi: 10.1016/j.fertnstert.2016.06.043
34. Kenny C, Priyadarshini A. Review of current healthcare waste management methods and their effect on global health. *Healthcare (Basel).* 2021;9(3):284. doi: 10.3390/healthcare9030284
- technologies in the emerging economies. *J Mater Cycles Waste Manag.* 2020;22:501-514. doi: 10.1007/s10163-019-00943-0
3. Das AK, Islam MN, Billah MM, Sarker A. COVID-19 pandemic and healthcare solid waste management strategy – A mini-review. *Sci Total Environ.* 2021;778:146220. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146220
4. Mazzei HG, Specchia S. Latest insights on technologies for the treatment of solid medical waste: A review. *J Environ Chem Eng.* 2023;11(2):109309. doi: 10.1016/j.jece.2023.109309
5. Kiyok OV, Polupanova NV, Chernyaeva NO, Naprimerova LV, Enina EYu. Medical waste management in today's healthcare: Issues and progress. *Kubanskiy Nauchnyy Meditsinskiy Vestnik.* 2022;29(3):121-134. (In Russ.) doi: 10.25207/1608-6228-2022-29-3-121-134
6. Rusakov NV, Shcherbo AP, Mironenko OV. Medical waste management: Ideology, hygiene and the environment. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology).* 2018;(7):4-10. (In Russ.) doi: 10.33396/1728-0869-2018-7-4-10
7. Cesaro A, Belgiorio V. Sustainability of medical waste management in different sized health care facilities. *Waste Biomass Valor.* 2017;8(5):1819-1827. doi: 10.1007/s12649-016-9730-y
8. Eren E, Tuzkaya UR. Occupational health and safety-oriented medical waste management: A case study of Istanbul. *Waste Manag Res.* 2019;37(9):876-884. doi: 10.1177/0734242X19857802
9. Shcherbo AP, Mironenko OV. Medical-waste management problems. *Biosfera.* 2013;5(4):419-425. (In Russ.)
10. Zudinova EA, Timofeeva TV, Akimkin VG. Measures to introduce centralized system of disinfection/decontamination of medical waste in Moscow. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya.* 2016;(12(285)):40-43. (In Russ.)
11. Shcherbo AP, Mironenko OV, Sushchy KK, Kozyrin KI, Soprun LA. Ecologo-hygienic preconditions and engineering approaches to medical waste management. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology).* 2013;(6):18-25. (In Russ.)
12. Mironenko OV, Soprun LA, Suvorova OK, *et al.* Hygienic assessment of pyrolytic incineration technologies for medical waste of the Russian Federation. *Profilakticheskaya i Klinicheskaya Meditsina.* 2020;(4(77)):46-56. (In Russ.)
13. Khurtsilava OG, Mironenko OV, Noskov SN, *et al.* Comparative assessment of the carcinogenic risk arising from the release of products of high-temperature and low-temperature neutralization of medical waste into the air. *Gigiena i Sanitariya.* 2023;102(8):750-756. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-8-750-756
14. Mironenko OV, Khurtsilava OG, Kiselev AV, Fedorova EA, Obukhov DA. Comparative characteristics of the non-carcinogenic risk to population health during low-temperature and high-temperature disposal of medical waste. *Profilakticheskaya i Klinicheskaya Meditsina.* 2023;(2(87)):13-22. (In Russ.) doi: 10.47843/2074-9120_2023_2_13
15. Voudrias EA. Technology selection for infectious medical waste treatment using the analytic hierarchy process. *J Air Waste Manag Assoc.* 2016;66(7):663-672. doi: 10.1080/10962247.2016.1162226
16. Bucătaru C, Săvescu D, Repanovici A, Blaga L, Coman E, Cocuz ME. The implications and effects of medical waste on development of sustainable society—A brief review of the literature. *Sustainability.* 2021;13(6):3300. doi: 10.3390/su13063300
17. Tait PW, Brew J, Che A, *et al.* The health impacts of waste incineration: A systematic review. *Aust N Z J*

REFERENCES

1. Mozzhukhina NA, Nikonov VA, Yalda KD, Eremin SG. [Environmental and hygienic aspects of medical waste management.] *Zdorov'e – Osnova Chelovecheskogo Potentsiala: Problemy i Puti Ikh Resheniya.* 2017;12(2):518-526. (In Russ.)
2. Li H, Li J, Zhang Z, Cao X, Zhu J, Chen W. Establishing an interval-valued fuzzy decision-making method for sustainable selection of healthcare waste treatment

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-81-92>

Оригинальная исследовательская статья

- Public Health*. 2020;44(1):40-48. doi: 10.1111/1753-6405.12939
18. Stepkin Yul, Gaydukova EP. Estimation and risk management in the waste treatment. *Gigiena i Sanitariya*. 2018;97(8):693-698. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-8-693-698
 19. Kiselev AV, Grigoreva YaV. The use of results of the calculation of atmospheric pollution for the social hygienic monitoring. *Gigiena i Sanitariya*. 2017;96(4):306-309. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-4-306-309
 20. Aleksashina VV. The ecology of the city. Waste incineration plants. *Academia. Arkhitektura i Stroitel'stvo*. 2014;(4):10. (In Russ.)
 21. Han J, Liang Y, Hu J, et al. Modeling downdraft biomass gasification process by restricting chemical reaction equilibrium with Aspen Plus. *Energy Convers Manag*. 2017;153:641-648. doi: 10.1016/j.enconman.2017.10.030
 22. Han J, Li W, Liu D, Qin L, Chen W, Xing F. Pyrolysis characteristic and mechanism of waste tyre: A thermogravimetry-mass spectrometry analysis. *J Anal Appl Pyrolysis*. 2017;129:1-5. doi: 10.1016/j.jaap.2017.12.016
 23. Han J, Zhang L, Lu Y, Hu J, Cao B, Yu F. The effect of syngas composition on the Fischer Tropsch synthesis over three-dimensionally ordered macro-porous iron based catalyst. *Mol Catal*. 2017;440:175-183. doi: 10.1016/j.mcat.2017.07.025
 24. Shaik SR, Mahalingam AK, Palanisamy M, Kalita PCh. Comprehensive review on medical waste incineration. *Int J Global Warm*. 2022;27(1):16. doi: 10.1504/IJGW.2022.122793
 25. Giakoumakis G, Politi D, Sidiras D. Medical waste treatment technologies for energy, fuels, and materials production: A review. *Energies*. 2021;14(23):8065. doi: 10.3390/en14238065
 26. Windfeld ES, Brooks MS. Medical waste management – A review. *J Environ Manage*. 2015;163:98-108. doi: 10.1016/j.jenvman.2015.08.013
 27. Dolgushina NA, Kuvshinova IA. Air pollution and non-carcinogenic risk assessment in industrial cities of Chelyabinsk region. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*. 2019;(6):17-22. (In Russ.) doi: 10.33396/1728-0869-2019-6-17-22
 28. Rakhmanin YA, Novikov SM, Avaliani SL, Sinitsyna OO, Shashina TA. Actual problems of environmental factors risk assessment on human health and ways to improve it. *Health Risk Analysis*. 2015;(2):4-9.
 29. Rakhmanin YuA, Onishchenko GG, Novikov SM, Avaliani SL, Bushtueva KA. [Fundamentals of Assessing Health Risks from Exposure to Chemical Pollutants.] Moscow: NII ECH i GOS; 2002. (In Russ.)
 30. Shcherbo AP, Kiselev AV. [Health Risk Assessment of Environmental Factors.] St. Petersburg; 2005. (In Russ.)
 31. Popova AY, Gurchik VB, Kuzmin SV, Mishina AL, Yarushin SV. Modern issues of the health risk assessment and management. *Gigiena i Sanitariya*. 2017;96(12):1125-1129. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-12-1125-1129
 32. Mironenko OV, Kiselev AV, Noskov SN, et al. Prognosis of morbidity and health risk assessment during hygienic research associated with of chemical impact. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Meditsina*. 2017;12(4):419-428. (In Russ.) doi: 10.21638/11701/spbu11.2017.410
 33. Krieg SA, Shahine LK, Lathi RB. Environmental exposure to endocrine-disrupting chemicals and miscarriage. *Fertil Steril*. 2016;106(4):941-947. doi: 10.1016/j.fertnstert.2016.06.043
 34. Kenny C, Priyadarshini A. Review of current healthcare waste management methods and their effect on global health. *Healthcare (Basel)*. 2021;9(3):284. doi: 10.3390/healthcare9030284

Сведения об авторах:

Мироненко Ольга Васильевна – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой коммунальной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; профессор кафедры организации здравоохранения и медицинского права ФГБОУ ВО СПбГУ; e-mail: miroolga@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1484-8251>.

Носков Сергей Николаевич – к.м.н., технический директор органа инспекции, старший научный сотрудник ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; доцент кафедры коммунальной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7971-4062>.

Магомедов Хамзат Курбанович – к.м.н., доцент кафедры коммунальной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1521-551X>.

✉ **Федорова** Екатерина Андреевна – ассистент кафедры коммунальной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; e-mail: katerina.fedo@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9233-7203>.

Обухов Денис Алексеевич – аспирант кафедры коммунальной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1444-9218>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Мироненко О.В., Магомедов Х.К.; обзор литературы: Федорова Е.А.; сбор данных: Федорова Е.А.; анализ и интерпретация результатов: Обухов Д.А.; редактирование текста: Носков С.Н.; подготовка проекта рукописи: Магомедов Х.К. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 01.04.25 / Принята к публикации: 10.02.26 / Опубликовано: 27.02.26

Author information:

Olga V. **Mironenko**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Communal Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; Professor, Department of Healthcare Organization and Medical Law, St. Petersburg State University; e-mail: miroolga@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1484-8251>.

Sergey N. **Noskov**, Cand. Sci. (Med.), Technical Director of the Inspection Body, Senior Researcher, North-West Public Health Research Center; Associate Professor, Department of Communal Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7971-4062>.

Khamzat K. **Magomedov**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Communal Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1521-551X>.

✉ Ekaterina A. **Fedorova**, Assistant, Department of Communal Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; e-mail: katerina.fedo@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9233-7203>.

Denis A. **Obukhov**, Postgraduate Student, Department of Communal Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1444-9218>.

Author contributions: study conception and design: *Mironenko O.V., Magomedov Kh.K.*; data collection: *Fedorova E.A.*; bibliography compilation and referencing: *Fedorova E.A.*; analysis and interpretation of results: *Obukhov D.A.*; draft manuscript preparation: *Magomedov Kh.K., Noskov S.N.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: April 1, 2025 / Accepted: February 10, 2026 / Published: February 27, 2026



Возможность применения прогнозно-ориентированного подхода для повышения эффективности мероприятий по специфической профилактике чумы в природных очагах Российской Федерации

О.М. Михайлова, С.А. Бугоркова

ФКУН «Российский научно-исследовательский противочумный институт „Микроб“» Роспотребнадзора,
ул. Университетская, д. 46, г. Саратов, 410005, Российская Федерация

Резюме

Введение. Высокий эпидемический потенциал и наличие природных очагов *Yersinia pestis* диктуют необходимость своевременной коррекции мер по специфической профилактике чумы. Разрабатываются индивидуальные/групповые схемы противочумной вакцинации для ежегодно прививаемых контингентов, основанные на определении текущего состояния поствакцинального иммунитета и его прогнозе на следующую ревакцинацию.

Цель исследования: определение диапазонов вероятности прогнозирования иммунного ответа для оценки возможности применения прогнозно-ориентированного подхода в мероприятиях по специфической профилактике чумы.

Материалы и методы. Проведен ретроспективный когортный анализ иммунного ответа на вакцинацию против чумы у 340 человек с использованием полученных в 2016–2022 гг. данных иммунологического мониторинга за прививаемыми против чумы контингентами. Применен индивидуальный метод экспертной оценки типов иммунного ответа и возможности их прогнозирования, основанный на непараметрическом анализе показателей Th-1 (IFN- γ , TNF- α) и Th-2 (IL-4) ассоциированных цитокинов и специфических антител к капсульному антигену чумного микроба до и через 12 месяцев после прививки с использованием программ Statsmodels Python и Microsoft Office Excel 2016.

Результаты. Определены соотношения индивидуальных и групповых типов иммунореактивности у обследованных лиц. Низкий тип установлен в 18 %, нормальный – в 71 %, высокий – в 11 % случаев. Выявлена повторяемость среди обследованных лиц нормального типа иммунного ответа в 71–86 %, низкого типа – в 7–18 % и высокого типа – в 7–11 % случаев на протяжении четырех лет наблюдения. Установлено увеличение в 1,7 раза доли лиц с низким типом иммунореактивности среди многократно ревакцинированных респондентов и увеличение в 6 раз доли лиц с высоким типом иммунного ответа среди вакцинированных 1–2 раза.

Выводы. Проведенный анализ повторяемости типов иммунного ответа позволил определить возможность прогнозирования иммунной реакции на очередную ревакцинацию у ежегодно прививаемого против чумы контингента.

Ключевые слова: вакцинация против чумы, противочумный иммунитет, иммунологический мониторинг, прогнозирование иммунного ответа, персонализированный подход к вакцинации.

Для цитирования: Михайлова О.М., Бугоркова С.А. Возможность применения прогнозно-ориентированного подхода для повышения эффективности мероприятий по специфической профилактике чумы в природных очагах Российской Федерации // Здоровье населения и среда обитания. 2026. Т. 34. № 2. С. 93–100. doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-93-100

Feasibility of Applying a Prediction-Based Approach for Improving Efficiency of Specific Plague Preventive Measures in Natural Foci of the Russian Federation

Olga M. Mikhailova, Svetlana A. Bugorkova

Russian Research Anti-Plague Institute "Microbe", 46 Universitetskaya Street, Saratov, 410005, Russian Federation

Summary

Introduction: The high epidemic potential and the presence of natural foci of *Yersinia pestis* necessitate timely revision of specific plague preventive measures. Individual and group plague vaccination schedules are being developed for annually vaccinated populations based on the post-vaccination immunity status and its prediction for the next booster dose.

Objective: To determine probability ranges for predicting immune responses in order to assess the feasibility of applying a prediction-based approach to planning specific plague prevention measures.

Materials and Methods: We conducted a retrospective cohort analysis of immune responses to plague vaccination in 340 individuals using immunological monitoring data for 2016–2022. A customized expert assessment method for immune response types and the possibility of predicting them was applied based on a nonparametric analysis of Th-1 (IFN- γ , TNF- α) and Th-2 (IL-4)-associated cytokines and specific antibodies to the plague capsular antigen before and 12 months after vaccine administration using Statsmodels by Python and Microsoft Excel 2016.

Results: The ratios of individual and group types of immunoreactivity were determined in the examined subjects. We found low, normal, and high immune responses in 18 %, 71 %, and 11 % of cases, respectively. Over the four-year observation period, normal immune responses were repeatedly found in 71–86 % of the subjects, while low and high responses persisted in 7–18 % and 7–11 % of the subjects, respectively. We established a 1.7-fold increase in the proportion of individuals with a low type of immunoreactivity among the respondents revaccinated multiple times but a 6-fold increase in the proportion of individuals with high immune responses among those administered one or two doses.

Conclusion: The conducted analysis of the recurrence of immune response types allowed us to determine feasibility of predicting the immune response to the next revaccination in the group of population annually vaccinated against plague.

Keywords: plague vaccination, immunity against plague, immunological monitoring, immune response prediction, personalized approach to vaccination.

Cite as: Mikhailova OM, Bugorkova SA. Feasibility of applying a prediction-based approach for improving efficiency of specific plague preventive measures in natural foci of the Russian Federation. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2026;34(2):93–100. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-93-100

Введение. Чума – единственная бактериальная инфекция, возбудитель которой отнесен к первой группе патогенности и обладает крайне высоким эпидемическим потенциалом. Даже единичные случаи возникновения этого заболевания у людей влекут за собой проведение комплекса карантинных мероприятий. Наличие природных резервуаров чумы обуславливает сохранение риска инфицирования людей и необходимость тщательного соблюдения профилактических мер, поэтому эпидемиологический надзор за чумой не теряет своей актуальности, а вакцинопрофилактика как составная его часть остается значимым звеном в системе обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия [1–3].

Стратегия и тактика специфической профилактики чумы ранее разрабатывалась с позиции достижения эпидемиологической эффективности вакцинации, сроки которой подбирались без учета особенностей индивидуальной иммунореактивности прививаемого контингента. В настоящее время в связи с отсутствием вспышек заболевания вакцинация против чумы рассматривается в большей степени как мера индивидуальной защиты. Однако при существующей тактике применения мероприятий по иммунизации против чумы¹, базирующейся на использовании вакцины чумной живой (ВЧЖ) в рамках рекомендованных производителем препарата доз и сроков, не исключена вероятность возникновения спорадических случаев инфицирования даже среди привитых против чумы лиц [4]. Риск заражения людей в активных природных очагах чумы возрастает, когда имеет место недооценка важности соблюдения объемов мер неспецифической профилактики, поскольку восприимчивость населения к инфекции зависит не только от вакцинации, но и от степени «насыщенности» возбудителя в природе [2, 4, 5].

Вакцинацию против чумы контингента риска из числа лиц, прибывающих на территорию природного очага или работающих с возбудителем заболевания, проводят ВЧЖ согласно инструкции производителя. Ревакцинацию рекомендовано проводить через один год, а при неблагоприятной эпидемической обстановке спустя 6 месяцев после прививки, в течение которых привитой человек считается потенциально защищенным. Однако при любой вакцинации выделяются группы людей, у которых иммунный ответ на конкретную вакцину либо отсутствует, либо формируется в недостаточной степени, либо развивается гиперэргическая реакция [6–8]. В случае применения ВЧЖ у лиц со сформировавшимся высоким уровнем иммунной защиты ревакцинация по стандартной схеме (через год) является крайне малоэффективным мероприятием, так как остаточный специфический иммунный ответ

препятствует нормальному течению нестерильной фазы иммунитета [9].

Отсутствие данных по оценке эффективности применяемой тактики вакцинопрофилактики чумы в современных условиях обусловило необходимость изучения особенностей формирования иммунного ответа у контингента риска на ВЧЖ в активных природных очагах для возможной оптимизации мероприятий по специфической профилактике чумы [10]. С одной стороны, в условиях низкой заболеваемости чумой рентабельность оптимизации специфической профилактики чумы, в том числе посредством обоснования индивидуального подхода к определению срока вакцинации/ревакцинации, представляется сомнительной. Но учитывая, что вакцинопрофилактика является частью эпидемиологического надзора за чумой, а карантинные меры, вводимые при каждом случае заболевания, являются весьма затратными, целесообразность оптимизации специфической профилактики чумы представляется вполне оправданной. Тем более что в свете недавно принятой Стратегии развития иммунопрофилактики инфекционных болезней разработка научных основ персонализированного подхода к вакцинопрофилактике возведена в ранг государственной политики.

Для адекватной и своевременной коррекции вакцинации, снижения риска гипериммунизации и увеличения защиты от инфекции слабо реагирующих лиц необходимо еще до прививки иметь представление о степени напряженности иммунитета у индивидуума к конкретной инфекции. В практике вакцинопрофилактики недопустимо произвольное изменение схем вакцинации, однако в инструкциях по применению ряда вакцин при определении количества доз и кратности их применения предписывается необходимость учета уровня специфических антител после предшествующей прививки для формирования полноценной иммунной защиты [11].

Широкие возможности при решении проблем специфической профилактики инфекционных болезней открывают междисциплинарные подходы, предполагающие тесное взаимодействие ученых из различных научных областей с использованием широкого спектра теоретических знаний и методологического инструментария [12, 13]. Решение насущных задач вакцинопрофилактики чумы также можно в значительной степени ускорить, если обеспечить ее научным сопровождением на основе риск-ориентированного подхода, включающего своевременную коррекцию объема и сроков мероприятий по специфической профилактике чумы с учетом данных ежегодного иммунологического³,

¹ Приказ Министерства здравоохранения РФ от 06.12.2021 № 1122н «Об утверждении национального календаря профилактических прививок, календаря профилактических прививок по эпидемическим показаниям и порядка проведения профилактических прививок» (зарегистрирован Минюстом России 20 декабря 2021 г., регистрационный № 66435), с изменениями, внесенными приказом Министерства здравоохранения РФ от 12 декабря 2023 г. № 677 (зарегистрировано в Минюсте 30 января 2024 г., регистрационный № 77040).

² Распоряжение Правительства РФ от 18 сентября 2020 г. № 2390-р «Об утверждении Стратегии развития иммунопрофилактики инфекционных болезней на период до 2035 года».

³ Методические рекомендации «Оценка уровня иммунитета у лиц, вакцинированных (ревакцинированных) против чумы», одобренных Ученым советом ФКУЗ «РосНИПЧИ «Микроб» Роспотребнадзора, протокол № 6 от 08.12.2015 и утвержденных директором института 08.12.2015.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-93-100>
Оригинальная исследовательская статья

эпизоотологического⁴ и эпидемиологического⁵ мониторинга очаговой территории и ее населения [14]. Методология риск-ориентированного подхода предполагает проведение оценки иммунного ответа на прививку для обоснования индивидуальных/групповых схем применения ВЧЖ с учетом уровня эпизоотологической активности в очаге [15]. При этом адекватное прогнозирование иммунного ответа должно базироваться на точном определении направленности иммунных реакций на введение вакцины. Существует множество методов математического прогнозирования эффективности вакцинации [16, 17], однако ввиду важности предотвращения вакцинальных неудач и принятия своевременных решений о тактике проведения прививок вопросы прогнозирования иммунного ответа на вакцинацию не теряют своей актуальности.

Целью исследования было определение диапазонов вероятности прогнозирования иммунного ответа для оценки возможности применения прогнозно-ориентированного подхода в мероприятиях по специфической профилактике чумы.

Материалы и методы

Дизайн исследования. Проведено ретроспективное когортное исследование типов иммунореактивности на введение ВЧЖ среди работников противочумных учреждений, ежегодно прививаемых против чумы, а также лиц, постоянно или временно проживающих на территории Прикаспийского песчаного природного очага инфекции. Анализ проводили с использованием данных, полученных во время наблюдательного мониторингового исследования за лицами, прививаемыми ВЧЖ по эпидемиологическим показаниям, одобренного локальным этическим комитетом при ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России (протокол № 5 от 02.02.2016), в период с 2016 по 2022 г. Исходная опытная группа обследуемых лиц состояла из привитых против чумы по эпидемическим показаниям жителей населенных пунктов Черноземельского и Лаганского районов Республики Калмыкия, расположенных на территории Прикаспийского песчаного природного очага чумы, временно или постоянно находящихся на территориях с высоким риском заражения чумой, а также ежегодно прививаемых против чумы сотрудников противочумных учреждений г. Элисты, г. Астрахани и г. Саратова, чья профессиональная деятельность связана с риском инфицирования возбудителем чумы.

В исследование были отобраны показатели индуцированной конканавалином А (Sigma) продукции Th-1 (IFN- γ , TNF- α) и Th-2 (IL-4) ассоциированных цитокинов, а также уровня специфических антител к капсульному антигену чумного микроба (F1), полученные до и через 12 месяцев после прививки от 340 человек из соответствующих критериям включения в возрасте от 21 до 69 лет (Me 42,5 (35;50), включая

176 женщин и 164 мужчин). Критериями включения в исследование были отсутствие противопоказаний к вакцинации ВЧЖ, наличие информированного согласия на обработку и использование полученных данных в обезличенной форме, возраст не моложе 18 лет и наличие всех данных по предикторным показателям адаптивного клеточного Th1 (IFN- γ , TNF- α), Th2 (IL-4) и гуморального (титры антител к белку F1 чумного микроба) иммунитета перед вакцинацией ВЧЖ и через 12 месяцев после нее. Критериями исключения были отсутствие согласия на обработку и использование данных, наличие у добровольцев острых инфекционных заболеваний в течение месяца до взятия материала на исследование по результатам анкетирования, наличие у них вакцинаций против других инфекций в течение 6 месяцев до начала исследования, а также неполные данные по IFN- γ , TNF- α , IL-4 и титрам специфических антител. В анализ также не были взяты лица с туберкулезом, беременные женщины, пациенты с сахарным диабетом, хроническими заболеваниями почек, печени, системными и аутоиммунными заболеваниями, установленными аллергическими реакциями и/или реакциями на вакцинацию в анамнезе.

Статистический анализ данных. Систематизацию исходной информации, полученной в ходе иммунологического мониторинга за привитыми против чумы лицами, а также визуализацию и анализ полученных результатов осуществляли с использованием электронных таблиц и формул Microsoft Office Excel 2016, а также пакет Python statsmodels. Первичный анализ данных включал в себя оценку нормальности распределения полученных данных по Колмогорову – Смирнову, вычисление межгрупповых ассоциаций с помощью U-критерия Манна – Уитни, а для сравнения внутри группы – T-критерий Уилкоксона.

Алгоритм настоящего исследования включал в себя несколько этапов. На первом этапе в исследуемую группу были включены 340 человек, у которых была определена степень изменения предикторных показателей адаптивного клеточного Th1 (IFN- γ , TNF- α), Th2 (IL-4) и гуморального (титры антител к белку F1 чумного микроба) иммунитета перед и через 12 месяцев после вакцинации ВЧЖ. Затем в зависимости от разности значений предикторных показателей до и после вакцинации выделяли групповые типы иммунного ответа – низкий, нормальный (гуморальный или смешанный) и высокий (клеточный), а также соответствующие им индивидуальные реакции в баллах, где I балл соответствовал низкому типу, II балла – гуморальному, III балла – смешанному, а IV балла – клеточному типу иммунного ответа, согласно разработанному ранее методическому подходу [9, 14]. На следующем этапе анализировали соотношение и повторяемость групповых и индивидуальных типов иммунореактивности в исследуемой выборке на протяжении

⁴ МУ 3.1.3.3394-16 «Методические указания по прогнозированию эпизоотической активности природных очагов чумы Российской Федерации», утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 19.08.2016.

⁵ МУ 3.1/4.2.4065-24 «Эпидемиологический надзор в природных очагах чумы на территории Российской Федерации: мониторинг, диагностика, профилактика», утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 27.09.2024.

4 лет наблюдения. В анализ за первый год были взяты результаты показателей иммуногенеза от 340 человек, за второй – от 168 из 340 человек первоначальной выборки, за третий – от 79 из 340 человек, за четвертый год – от 30 из 340 человек. Предварительно были установлены диапазоны допущения, в рамках которых учитывали количество совпадений типов иммунореактивности по годам. Нижний предел диапазона при трехлетнем периоде наблюдения при совпадении типа иммунного ответа в течение двух из трех лет наблюдения составил 67 %, а верхний предел соответственно при 100 % совпадений типа иммунного ответа в течение всех трех лет наблюдения. Аналогично устанавливали нижний предел допущения в 75 % в случае трех повторов из четырех, и верхнего предела в 100 % при совпадении типа иммунного ответа у обследуемого респондента в течение всех четырех лет. Затем определяли частоту повторений типов иммунного ответа в установленных диапазонах и зависимость распределения типов иммунореактивности от кратности ревакцинаций. Оценку вероятностного прогноза типов иммунного ответа на вакцинацию проводили методом прямого определения частоты повторяемости типов иммунореактивности у вакцинируемых лиц на протяжении 2–4 лет наблюдения.

При оценке влияния количества предыдущих вакцинаций ВЧЖ на степень выраженности иммунного ответа на прививку у ежегодно ревакцинируемых против чумы участники были разделены на группы привитых 1–2 раза ($n = 111$), привитых 3–10 раз ($n = 97$) и привитых $10 \geq$ раз ($n = 119$).

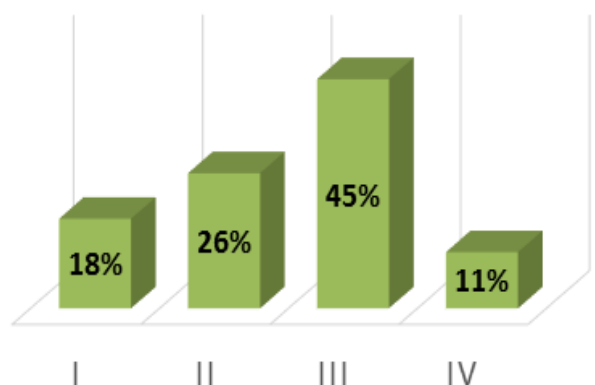


Рисунок. Соотношение типов иммунного ответа в баллах (I–IV) к 12 месяцам после прививки ВЧЖ

Figure. Ratio of immune response types in points (I (low), II (humoral), III (mixed), and IV (cellular)) 12 months after live plague vaccine administration

Сравнение между группами проводили методом прямого подсчета, определяя процентную разницу между типами иммунного ответа в зависимости от кратности вакцинаций против чумы.

Результаты. Обширный набор полученных в процессе иммунологического мониторинга количественных характеристик иммунного ответа у ежегодно вакцинируемых ВЧЖ лиц позволил предварительно охарактеризовать общую направленность и индивидуальные особенности их иммунологических реакций. В настоящем исследовании были определены индивидуальные, выраженные в баллах, и групповые типы иммунореактивности. Среди обследованных волонтеров с различными вариантами иммунореактивности на прививку ($n = 340$) доля лиц с нормальным типом иммунного ответа (II и III балла) составила 71 % от общего числа обследованных респондентов. Лица с низким и высоким типами иммунного ответа, соответствующего I и IV баллам, составляли 29 % от общего числа наблюдаемых добровольцев (см. рисунок).

Для составления прогноза формирования специфического иммунитета использовали детальный анализ повторяемости типов иммунореактивности. Нами была изучена динамика соотношений типов иммунореактивности на протяжении 2–4 лет наблюдения (см. табл. 1). Установлено, что на протяжении четырехлетнего периода наблюдения доля лиц с нормальным типом иммунного ответа сохранялась в пределах 71–86 %. Распределение привитых лиц с низким типом иммунного ответа варьировало в пределах 7–18 %, в то время как высокий тип наблюдался у 7–11 % обследованных респондентов, что свидетельствует о достаточно стабильном соотношении типов иммунореактивности в когорте прививаемых против чумы людей в течение нескольких лет.

Далее нами была отобрана группа ежегодно прививаемых лиц ($n = 168$), у которых частота повторения типа иммунного ответа была изучена более детально. Установлено, что нормальный тип иммунного ответа в диапазоне допущений повторялся у обследуемых лиц в 73–80 % случаев на протяжении 2–4 лет. У наблюдаемых лиц с низким типом иммунного ответа регистрировали его повторение на протяжении двух лет в 69 % случаев (см. табл. 2).

В рамках формирования информационной базы прогнозно-ориентированного подхода к вакцинации был проведен анализ влияния количества предыдущих вакцинаций ВЧЖ на степень

Таблица 1. Распределение обследуемого контингента из числа лиц ежегодно ревакцинируемых ВЧЖ по типу иммунореактивности в течение 4-летнего периода наблюдения (абс. / %)

Table 1. Distribution of the surveyed contingent from among the individuals annually revaccinated with the live plague vaccine by immunoreactivity type during the 4-year observation period (n / %)

Типы иммунного ответа / Types of immune response	Период наблюдения, лет / Observation period, years			
	1 $n = 340$	2 $n = 168$	3 $n = 79$	4 $n = 30$
Низкий (I балл) / Low (I point)	60 / 18	16 / 10	7 / 9	2 / 7
Нормальный (II и III балла) / Normal (II and III points)	242 / 71	135 / 80	66 / 83	26 / 86
Высокий (IV балла) / High (IV points)	38 / 11	17 / 3,5	6 / 7	2 / 7

Таблица 2. Повторяемость типов иммунореактивности (абс./ %)

Table 2. Recurrence of immunoreactivity types (n / %)

Тип иммунного ответа / Type of immune response	Период наблюдения, лет / Observation period, years					
	2 n = 168		3 n = 79		4 n = 30	
	n	n совпадение / match: 100 %	n	n совпадение / match: 67–100 %	n	n совпадение / match: 75–100 %
Низкий (I балл) / Low (I point)	16	11 / 69	7	2 / 29	2	0
Нормальный (II и III балла) / Normal (II and III points)	135	103 / 78	66	53 / 80	26	19 / 73
Высокий (IV балла) / High (IV points)	17	2 / 6	6	0	2	0

выраженности иммунного ответа на прививку у ежегодно ревакцинируемых против чумы респондентов. Установлено, что среди многократно ($10 \geq$ раз) ревакцинированных респондентов в 1,7 раза больше лиц с низким типом иммунного ответа на вакцинацию, по сравнению с вакцинированными 1–2 раза. Среди вакцинированных 1–2 раза доля лиц с высоким типом иммунного ответа в 6 раз больше, чем среди вакцинированных 3 и более раз (см. табл. 3).

Обсуждение. С учетом ведущей роли клеточного звена иммунитета в защите от чумы, активацию которого обеспечивает ВЧЖ, плановые мероприятия по ежегодной вакцинации можно считать целесообразными с позиции достижения иммунологической (фактической) защищенности контингентов риска. Эпидемиологическая эффективность противочумной вакцинации обусловлена снижением тяжести заболевания в случае его возникновения в поствакцинальный период, низкой вероятностью осложнения легочной формой инфекции, что предотвращает ее антропонозное распространение. В то же время даже при хорошо выполненной вакцинации значительная часть прививаемого контингента может остаться без должной защиты и нуждается в коррекции схем иммунизации. В связи с тем что формирование поствакцинального иммунного ответа зависит от влияния многочисленных факторов [18, 19], для объективной оценки текущего иммунного статуса, а также для прогноза индивидуальной и групповой реакции на прививку требуется совершенствование аналитического инструментария [20].

На начальных этапах реализации прогнозно-ориентированного подхода мы сочли более целесообразным использовать адаптивные методы прямого подсчета, без применения сложного математического моделирования, во избежание

статистических ошибок и погрешностей. В идеале совпадение степени и типа иммунного ответа до и после прививки должно стремиться к 100 %, однако на практике динамика предикторных показателей иммунного статуса, наблюдаемая у обследуемых людей, может быть весьма неоднозначной, поэтому уровень постпрививочной перестройки требует индивидуального комплексного учета показателей иммунитета [8]. Значительное превалирование в наблюдаемой когорте респондентов с нормальным типом иммунореактивности свидетельствует об адекватной поствакцинальной иммунологической перестройке у значительной части вакцинированных людей. В то же время выявление у 14–29 % наблюдаемых нами лиц высокого или низкого типов иммунореактивности на прививку ВЧЖ согласуется с литературными данными, по которым после любой вакцинации выделяются группы с очень сильным и очень слабым иммунным ответом, в целом составляющие около 20–30 % от числа всех вакцинируемых [11].

Стабильное соотношение типов иммунореактивности в когорте прививаемых против чумы людей на протяжении всего периода наблюдения свидетельствует о достаточно высокой вероятности их последующего повторения и повышении вероятности точного прогноза на следующую ревакцинацию. При анализе вероятности повторения типа иммунного ответа мы опирались на общепринятую интерпретацию диапазонов и терминов вероятности, когда при пороговом значении 50 % и более событие считается вероятным, при 75 % и более степень вероятности оценивается как разумная уверенность, 80 % и более – как достаточная уверенность, а при 85 % и более событие считается высоковероятным⁶.

При этом следует помнить, что прогноз иммунного ответа, так же как и процесс его формирования, зависит от влияния многочисленных

Таблица 3. Зависимость иммунореактивности привитых ВЧЖ лиц от кратности вакцинаций (абс. / %)

Table 3. Distribution of immunoreactivity types by the number of live plague vaccine doses administered (n / %)

Кратность вакцинации / Vaccine doses administered	Тип иммунного ответа в баллах / Immune response type in points		
	Низкий / Low I	Нормальный / Normal II–III	Высокий / High IV
1–2 (n = 111)	14 / 13	69 / 62	28 / 25
3–10 (n = 97)	16 / 16	77 / 79	4 / 4
≥ 10 (n = 119)	26 / 22	88 / 74	5 / 4

⁶ <https://www.ifrs.org/content/dam/ifrs/meetings/2015/december/asaf/aasb-kasb-joint-research-project/ap1a-preliminary-results-accounting-judgments-on-terms-of-likelihood-in-ifrs-korea-and-australia.pdf>

факторов, действие которых необходимо учитывать при составлении рекомендаций. В предыдущих исследованиях нами было установлено, что на иммунологическую реактивность привитых против чумы лиц влияют различные факторы. В числе механизмов, лежащих в основе вариаций иммунного ответа после вакцинации, немаловажную роль играет аллельный полиморфизм генов главного комплекса гистосовместимости человека (HLA), оказывающий влияние на показатели маркеров клеточного и гуморального звеньев иммунитета [21]. Кроме генетических факторов на иммунологическую реактивность лиц, привитых ВЧЖ, оказывает влияние в том числе кратность предыдущих вакцинаций против чумы [18]. Полученные в настоящем исследовании данные о превалировании среди многократно вакцинируемых лиц с низким типом иммунного ответа, а также данные о многократном превышении числа лиц с высоким типом иммунного ответа среди вакцинированных 1–2 раза подтверждают основной постулат риск-ориентированного подхода к противочумной вакцинации: необходимость рационального планирования мероприятий по специфической профилактике с комплексным междисциплинарным учетом реальной вероятности инфицирования, а применительно к группе ревакцинированных 10 и более раз необходимо учитывать еще и прогнозируемый риск снижения иммунореактивности на введение вакцины.

Проведенный анализ вероятности повторения типа иммунного ответа у неоднократно вакцинированных против чумы лиц позволил определить частоту совпадения прогноза иммунного ответа на очередную вакцинацию и объективно обосновать вероятность формирования низкого типа иммунореактивности при многократной (более 10 раз) ревакцинации ВЧЖ. Полученные данные могут быть востребованы для разработки индивидуальных гибких схем проведения мероприятий по специфической профилактике чумы на территориях природных очагов инфекции и направлены на повышение ее эффективности. Дальнейшее совершенствование методов и инструментов оценки специфического противочумного иммунного ответа и расширение мониторингового иммунологического контроля за контингентом риска на территориях природных очагов чумы позволит повысить возможности применения прогнозного подхода для формирования схем вакцинации с учетом типа иммунного ответа на предыдущую прививку.

Ограничение исследования. Выборка наблюдаемых лиц с низким и высоким типами иммунного ответа была явно недостаточной для достоверной оценки их повторяемости. Выявленное многократное превышение доли лиц с высоким типом иммунного ответа среди вакцинированных 1–2 раза, а также увеличение доли лиц с низким типом иммунного ответа среди многократно привитых лиц свидетельствует о тенденции, которую также необходимо подтвердить на большем количестве обследуемых лиц.

Заключение. Анализ повторяемости типов иммунного ответа позволяет определять возможность

прогнозирования иммунной реакции на очередную ревакцинацию у ежегодно прививаемого против чумы контингента. Выявленную тенденцию к влиянию числа предыдущих ревакцинаций против чумы на формирование низкого типа иммунореактивности необходимо учитывать при индивидуальном прогнозировании иммунной реакции на ВЧЖ для формирования гибкой тактики проведения мероприятий по специфической профилактике чумы в конкретном эпидемиологическом сценарии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов Н.В., Карнаухов И.Г., Кузнецов А.А. и др. Эпидемиологическая обстановка по чуме в мире и прогноз ее развития на 2025 г. в Российской Федерации // Проблемы особо опасных инфекций. 2025. № 1. С. 74–83. doi: 10.21055/0370-1069-2025-1-74-83
2. Попов Н.В., Ерошенко Г.А., Карнаухов И.Г. и др. Эпидемиологическая и эпизоотическая обстановка по чуме в Российской Федерации и прогноз ее развития на 2020–2025 гг. // Проблемы особо опасных инфекций. 2020. № 1. С. 43–50. doi: 10.21055/0370-1069-2020-1-43-503
3. Зубова А.А., Иванова А.В., Сафронов В.А., Трескин А.А., Скударева О.Н. Современные вызовы системе санитарной охраны территории Российской Федерации // Проблемы особо опасных инфекций. 2024. № 2. С. 83–100. doi: 10.21055/0370-1069-2024-2-83-100
4. Балахонов С.В., Корзун В.М., ред. Трансграничный Сайлюгемский природный очаг чумы. Новосибирск, 2022. 248 с.
5. Попов Н.В., Карнаухов И.Г., Кузнецов А.А. и др. Совершенствование эпизоотического надзора в природных очагах чумы Российской Федерации и прогноз их эпизоотической активности на 2022 г. // Проблемы особо опасных инфекций. 2022. № 1. С. 35–42. doi: 10.21055/0370-1069-2022-1-35-42
6. Топтыгина А.П., Андреев Ю.Ю., Смердова М.А., Зеткин А.Ю., Клыкова Т.Г. Формирование гуморального и клеточного иммунитета на коревую вакцину у взрослых // Инфекция и иммунитет. 2020. Т. 10. № 1. С. 137–144. doi: 10.15789/2220-7619-FON-1334
7. Костинов М.П. Вакцинация взрослых – от стратегии к тактике. Руководство для врачей. М.: Группа МДВ, 2020. 248 с.
8. Костинов М.П., Харсеева Г.Г., Тюкавкина С.Ю. Вакцинация людей с хронической патологией (материал для подготовки лекции) // Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение. 2021. Т. 10. № 2. С. 99–108. doi: 10.33029/2305-3496-2021-10-2-99-108
9. Кудрявцева О.М., Гончарова А.Ю., Кожевников В.А., Бугоркова С.А. Комплексный подход к оценке и прогнозированию иммунного ответа на вакцинацию у привитых против чумы людей // Проблемы особо опасных инфекций. 2024. № 3. С. 118–125. doi: 10.21055/0370-1069-2024-3-118-125
10. Корытов К.М., Войткова В.В., Дубровина В.И. и др. Оценка иммунологической эффективности вакцинации населения против чумы в Горно-Алтайском высокогорном природном очаге // Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. 2018. Т. 17. № 6. С. 87–97. doi: 10.31631/2073-3046-2018-17-87-97
11. European Centre for Disease Prevention and Control. Effective communication around the benefit and risk balance of vaccination in the EU/EEA. Stockholm: ECDC; 2024. doi: 10.2900/274174
12. Фельдблюм И.В., Алыева М.Х., Субботина К.А., Девятков М.Ю. Обоснование необходимости междисциплинарного

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-93-100>

Оригинальная исследовательская статья

- подхода при проведении исследований, организации и управлении рисками вакцинопрофилактики // Профилактическая медицина. 2021. Т. 24. № 2. С. 97–101. doi: <https://doi.org/10.17116/profmed20212402197>
13. Брико Н.И., Фельдблюм И.В. Национальная концепция развития вакцинопрофилактики в России // Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. 2024. Т. 23. № 2. С. 114–123. doi: 10.31631/2073-3046-2024-23-2-114-123
 14. Бугоркова С.А., Ключева С.Н., Кудрявцева О.М. и др. Иммунологический мониторинг вакцинированных против чумы в Прикаспийском песчаном природном очаге для оценки и управления рисками здоровью населения // Анализ риска здоровью. 2020. № 4. С. 121–129. doi: 10.21668/health.risk/2020.4
 15. Попова А.Ю., Кутырев В.В., ред. Специфическая профилактика чумы: состояние и перспективы. Саратов: Амирит, 2021. 304 с.
 16. Russo G, Crispino E, Maleki A, Di Salvatore V, Stanco F, Pappalardo F. Beyond the state of the art of reverse vaccinology: Predicting vaccine efficacy with the universal immune system simulator for influenza. *BMC Bioinformatics*. 2023;24(1):231. doi: 10.1186/s12859-023-05374-1
 17. Старшинин А.В., Камынина Н.Н., Нечаев О.И. Информационные технологии в вакцинации: анализ зарубежного и российского опыта. М.: ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ», 2023. 40 с. Доступно по: <https://niioz.ru/upload/iblock/3df/3dfb873db84c6bc8218ff04bd032d8e4.pdf>. Ссылка активна на 17 октября 2025.
 18. Кудрявцева О.М., Гончарова А.Ю., Бугоркова С.А. и др. Анализ факторов, влияющих на иммунологическую реактивность лиц, вакцинированных живой чумной вакциной // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 6 (327). С. 17–24. doi: 10.35627/2219-5238/2020-327-6-17-24
 19. Мосикян А.А., Хохлов А.Л. Иммуногенность биологических лекарственных препаратов: причины, механизмы, последствия // Медицинская этика. 2020. № 1. С. 28–35.
 20. Torku TK, Khaliq AQM, Furati KM. Deep-data-driven neural networks for COVID-19 vaccine efficacy. *Epidemiologia (Basel)*. 2021;2(4):564–586. doi: 10.3390/epidemiologia2040039
 21. Кудрявцева О.М., Бугоркова С.А., Щуковская Т.Н. и др. Ассоциация показателей функциональной активности маркеров Th1 и Th2 иммунитета с полиморфизмом генов HLA у лиц, вакцинированных против чумы // Инфекция и иммунитет. 2019. Т. 9. № 2. С. 315–324. doi: 10.15789/2220-7619-2019-2-315-324
 4. Balakhonov SV, Korzun VM, eds. [The Transboundary Saylyugem Natural Plague Focus.] Novosibirsk; 2022. (In Russ.)
 5. Popov NV, Karnaukhov IG, Kuznetsov AA, et al. Enhancement of epidemiological surveillance in natural plague foci of the Russian Federation and forecast of epizootic activity for 2022. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsiy*. 2022;(1):35–42. (In Russ.) doi: 10.21055/0370-1069-2022-1-35-42
 6. Toptygina AP, Andreev YuYu, Smerdova MA, Zetkin AYU, Klykova TG. Formation of humoral and cellular immunity to measles vaccine in adults. *Infektsiya i Immunitet*. 2020;10(1):137–144. (In Russ.) doi: 10.15789/2220-7619-FOH-1334
 7. Kostinov MP. [Vaccination of Adults: From Strategy to Tactics: A Guide for Physicians.] Moscow: MDV Group; 2020. (In Russ.)
 8. Kostinov MP, Kharseeva GG, Tyukavkina SYu. Vaccination of people with chronic pathology (material for preparing the lecture). *Infektsionnye Bolezni: Novosti, Mneniya, Obuchenie*. 2021;10(2):99–108. (In Russ.) doi: 10.33029/2305-3496-2021-10-2-99-108
 9. Kudryavtseva OM, Goncharova AYU, Kozhevnikov VA, Bugorkova SA. Multifaceted approach to assessing and forecasting the immune response to vaccination in population immunized against plague. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsiy*. 2024;(3):118–125. (In Russ.) doi: 10.21055/0370-1069-2024-3-118-125
 10. Korytov KM, Voitkova VV, Dubrovina VI, et al. Immunological efficiency of human plague vaccination in the Gorno-Altai high-mountain natural plague focus. *Epidemiologiya i Vaksinoprofilaktika*. 2018;17(6):87–97. (In Russ.) doi: 10.31631/2073-3046-2018-17-87-97
 11. European Centre for Disease Prevention and Control. Effective communication around the benefit and risk balance of vaccination in the EU/EEA. Stockholm: ECDC; 2024. doi: 10.2900/274174
 12. Feldblum IV, Alyeva MKh, Subbotina KA, Devyatkov MYu. Rationale for an interdisciplinary approach in research, organization and risk management of vaccine prevention. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2021;24(2):97–101. (In Russ.) doi: 10.17116/profmed20212402197
 13. Briko NI, Feldblyum IV. NASC to World Immunization Week. National concept of development of vaccine prophylaxis in Russia. *Epidemiologiya i Vaksinoprofilaktika*. 2024;23(2):114–123. (In Russ.) doi: 10.31631/2073-3046-2024-23-2-114-123
 14. Bugorkova SA, Klyueva SN, Kudryavtseva OM, et al. Immunologic monitoring over people vaccinated against plague in Caspian sand natural focus in order to assess and manage health risks. *Health Risk Analysis*. 2020;(4):121–129. doi: 10.21668/health.risk/2020.4.14.eng
 15. Popova AYU, Kutyrev VV, eds. [Specific Plague Prevention: Status and Prospects.] Saratov: Amirit; 2021. (In Russ.)
 16. Russo G, Crispino E, Maleki A, Di Salvatore V, Stanco F, Pappalardo F. Beyond the state of the art of reverse vaccinology: Predicting vaccine efficacy with the universal immune system simulator for influenza. *BMC Bioinformatics*. 2023;24(1):231. doi: 10.1186/s12859-023-05374-1
 17. Starshinin AV, Kamynina NN, Nechayev OI. [Information Technologies in Vaccination: Analysis of Foreign and Russian Experience.] Moscow: GBU NIIOZMM DZM; 2023. (In Russ.) Accessed October 17, 2025. <https://niioz.ru/upload/iblock/3df/3dfb873db84c6bc8218ff04bd032d8e4.pdf>
 18. Kudryavtseva OM, Goncharova AYU, Bugorkova SA, et al. The analysis of factors influencing immunologic reactivity

REFERENCES

1. Popov NV, Karnaukhov IG, Kuznetsov AA, et al. The epidemiological situation on plague in the world and the forecast of its development in the Russian Federation for 2025. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsiy*. 2025;(1):74–83. (In Russ.) doi: 10.21055/0370-1069-2025-1-74-83
2. Popov NV, Eroshenko GA, Karnaukhov IG, et al. Epidemiological and epizootic situation on plague in the Russian Federation and forecast for its development for 2020–2025. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsiy*. 2020;(1):43–50. (In Russ.) doi: 10.21055/0370-1069-2020-1-43-50
3. Zubova AA, Ivanova AV, Safronov VA, Treskin AA, Skudareva ON. Modern challenges to the system of sanitary protection of the Russian Federation. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsiy*. 2024;(2):83–100. (In Russ.) doi: 10.21055/0370-1069-2024-2-83-100

- in people vaccinated with a live plague vaccine. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020;(6(327)):17-24. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2020-327-6-17-24
19. Mosikian AA, Khokhlov AL. Immunogenicity of biological drugs: Causes, pathogenesis, consequences. *Meditsinskaya Etika*. 2020;8(1):28-35. (In Russ.)
20. Torku TK, Khaliq AQM, Furati KM. Deep-data-driven neural networks for COVID-19 vaccine efficacy. *Epidemiologia (Basel)*. 2021;2(4):564-586. doi: 10.3390/epidemiologia2040039
21. Kudryavtseva OM, Bugorkova SA, Shchukovskaya TN, et al. An association between parameters of Th1 and Th2 cell-related functional activity and HLA gene polymorphism in individuals after anti-plague vaccination *Infektsiya i Immunitet*. 2019;9(2):315-324. (In Russ.) doi: 10.15789/2220-7619-2019-2-315-324

Сведения об авторах:

✉ **Михайлова** Ольга Михайловна – к.б.н., старший научный сотрудник отдела иммунологии; e-mail: 3030774@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9894-3394>.

Бугоркова Светлана Александровна – д.м.н., заведующий отделом иммунологии; e-mail: bugorkova 29@ mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7548-4845>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Михайлова О.М., Бугоркова С.А.*; сбор данных: *Михайлова О.М.*; анализ и интерпретация результатов: *Михайлова О.М., Бугоркова С.А.*; обзор литературы: *Михайлова О.М., Бугоркова С.А.*; подготовка проекта рукописи: *Михайлова О.М.* Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено на заседании Локального этического комитета ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России (Протокол № 5 от 02.02.2016). От всех участников было получено информированное добровольное согласие на медицинское вмешательство (забор крови), а также на обработку и использование полученных данных в обезличенной форме.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 05.06.25 / Принята к публикации: 10.02.26 / Опубликовано: 27.02.26

Author information:

✉ **Olga M. Mikhailova**, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Department of Immunology; e-mail: 3030774@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9894-3394>.

Svetlana A. Bugorkova, Dr. Sci. (Med.), Head of the Department of Immunology; e-mail: bugorkova 29@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7548-4845>.

Author contributions: study conception and design: *Mikhailova O.M., Bugorkova S.A.*; data collection: *Mikhailova O.M.*; analysis and interpretation of results: *Mikhailova O.M., Bugorkova S.A.*; bibliography compilation and referencing: *Mikhailova O.M., Bugorkova S.A.*; draft manuscript preparation: *Mikhailova O.M.* Both authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Study approval was provided by the Local Ethics Committee of the Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky (protocol No. 5 of February 2, 2016). Written informed consent was obtained from all participants.

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

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: June 5, 2025 / Accepted: February 10, 2026 / Published: February 27, 2026