

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN (Print) 2308-1155  
ISSN (Online) 2308-1163  
ISSN (Eng-online) 2542-2308

# Анализ риска здоровью

Health Risk  
Analysis



[journal.fcisk.ru](http://journal.fcisk.ru)

2024 / № 2

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС  
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЛАНЬ»

SJR

Scimago Journal & Country Rank

DOAJ

DIRECTORY OF  
OPEN ACCESS  
JOURNALS

OAJI

Open Academic  
Journals Index

RUSSIAN SCIENCE  
CITATION INDEX

Журнал «Анализ риска здоровью» входит в перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, доктора наук.

Издание представлено в следующих международных и российских базах данных: Scopus, CyberLeninka, CrossRef, Ulrich's Periodicals Directory, Directory of Open Access Journals (DOAJ), WorldCat, Open Academic Journal Index, AcademicKeys, Google Scholar, CiteFactor, ResearchBib, ERIH Plus, Universal Impact Factor, ВИНТИ, BASE, ICMJE (International committee of Medical journal editors), Electronic Journals Library, EuroPub, MAIR (Information Matrix For The Analysis of Journals), General Impact Factor, EBSCOhost, SCImago Journal & Country Rank, Research4life, Руконт, Dimensions, Russian Science Citation Index, Издательство «Лань», Все науки и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Номер издается при финансовой поддержке Министерства образования и науки Пермского края.

Учредитель: Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

**Адрес учредителя и редакции:**  
614045, Пермский край, г. Пермь,  
ул. Монастырская, д. 82  
Тел.: 8 (342) 237-25-34  
E-mail: journal@fcrisk.ru  
Сайт: <http://journal.fcrisk.ru>

Редактор и корректор – М.Н. Афанасьева  
Технический редактор – М.М. Цинкер,  
А.В. Алексеева  
Переводчик – Н.В. Дубровская

Все права защищены. Ни одна часть этого издания не может быть занесена в память компьютера либо воспроизведена любым способом без предварительного письменного разрешения издателя.

Выход в свет 28.06.2024.  
Формат 90×60/8.  
Усл. печ. л. 25,0.  
Заказ № 105/2024.  
Тираж 125 экз. Цена свободная.

Журнал зарегистрирован  
Федеральной службой по надзору  
в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций  
Свидетельство о регистрации средства  
массовой информации ПИ № ФС 77-52552  
от 21.01.2013

Адрес издателя и типографии:  
614990, Пермь, Комсомольский пр., 29,  
к. 113, тел. 8 (342) 219-80-33

Отпечатано в Издательстве Пермского  
национального исследовательского  
политехнического университета (614990,  
Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113,  
тел. 8 (342) 219-80-33)

**Журнал распространяется по подписке**

**Подписной индекс журнала  
по каталогу «Пресса России»:**  
**годовая подписка – 04153,**  
**полугодовая подписка – 83927**

ISSN (Print) 2308-1155  
ISSN (Online) 2308-1163  
ISSN (Eng-online) 2542-2308

Номер издаётся при финансовой поддержке  
Министерства образования и науки  
Пермского края

# АНАЛИЗ РИСКА ЗДОРОВЬЮ

Научно-практический журнал. Основан в 2013 г.

*Выходит 4 раза в год*

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Г.Г. Онищенко** – главный редактор, акад. РАН, д.м.н., проф.  
(г. Москва)

**Н.В. Зайцева** – заместитель главного редактора, акад. РАН, д.м.н.,  
проф. (г. Пермь)

**И.В. Май** – ответственный секретарь, д.б.н., проф. (г. Пермь)

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

В.Г. Акимкин – акад. РАН, д.м.н., проф. (г. Москва)

В.М. Боев – д.м.н., проф. (г. Оренбург)

И.В. Брагина – д.м.н. (г. Москва)

Р.В. Бузинов – д.м.н. (г. Санкт-Петербург)

И.В. Бухтияров – акад. РАН, д.м.н., проф. (г. Москва)

В.Б. Гурвич – д.м.н. (г. Екатеринбург)

И. Дардынская – д.м.н., проф. (г. Чикаго, США)

М.А. Землянова – д.м.н. (г. Пермь)

У.И. Кенесариев – чл.-корр. АМН Казахстана, д.м.н., проф.  
(г. Алматы, Казахстан)

С.В. Клейн – д.м.н., проф. РАН (г. Пермь)

Т. Кронберг – д.э.н., д.т.н. (г. Руваслахти, Финляндия)

С.В. Кузьмин – д.м.н., проф. (г. Москва)

В.В. Кутырев – акад. РАН, д.м.н., проф. (г. Саратов)

В.Р. Кучма – чл.-корр. РАН, д.м.н., проф. (г. Москва)

А.-М. Ландтблом – д.м.н., проф. (г. Уппсала, Швеция)

Х.Т. Ли – доц., проф. (г. Ханой, Вьетнам)

А.Г. Малышева – д.б.н., проф. (г. Москва)

А.В. Мельцер – д.м.н., проф. (г. Санкт-Петербург)

О.Ю. Милушкина – чл.-корр. РАН, д.м.н. (г. Москва)

О.В. Митрохин – д.м.н. (г. Москва)

А.Ю. Попова – д.м.н., проф. (г. Москва)

В.Н. Ракитский – акад. РАН, д.м.н., проф. (г. Москва)

Ю.А. Ревазова – д.б.н., проф. (г. Москва)

Ж. Рейс – д.м.н., проф. (г. Страсбург, Франция)

В.С. Репин – д.б.н., проф. (г. Санкт-Петербург)

А.В. Решетников – акад. РАН, д.м.н., д.социол.н., проф. (г. Москва)

П.С. Спенсер – проф. (г. Портланд, США)

С.И. Сычик – к.м.н., доцент (г. Минск, Белоруссия)

А. Тсакалоф – проф. (г. Ларисса, Греция)

В.А. Тутельян – акад. РАН, д.м.н., проф. (г. Москва)

Л.М. Фатхутдинова – д.м.н., проф. (г. Казань)

И.В. Фельдблюм – д.м.н., проф. (г. Пермь)

Х.Х. Хамидулина – д.м.н., проф. (г. Москва)

С.А. Хотимченко – д.м.н., проф. (г. Москва)

П.З. Шур – д.м.н. (г. Пермь)

# 2

Апрель 2024 июнь

# СОДЕРЖАНИЕ

## ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА: АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ

*О.С. Кобякова, И.П. Шибалков, И.А. Соломатников,  
С.А. Тимонин, А.Е. Шчур, М.Д. Лагутин, Д.С. Тюфиллин,  
И.А. Деев, С.Ю. Никитина*  
МЕДИКО-ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В РОССИИ:  
ДОЛГОСРОЧНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ, ПРОГНОЗЫ  
И РЕЗЕРВЫ УЛУЧШЕНИЯ

*Н.В. Зайцева, М.А. Землянова,  
Ю.В. Кольдибекова, Е.В. Пескова*  
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИТЕРАЦИОННОГО  
ПРОГНОЗА РИСКА И ВРЕДА ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА ПРИ  
ВОЗДЕЙСТВИИ ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ  
ОБИТАНИЯ: ОТ БЕЛКОВЫХ МИШЕНЕЙ ДО СИСТЕМНЫХ  
МЕТАБОЛИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

*Е.В. Ковалев, М.Я. Занина, А.В. Моцкус,  
С.А. Мусиенко, М.С. Машидиева*  
РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ  
РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ  
РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ  
КОНТРОЛЬНО-НАДЗОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СФЕРЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО  
БЛАГОПОЛУЧИЯ НАСЕЛЕНИЯ

*С.П. Алексеенко, А.В. Моцкус, С.А. Мусиенко,  
Г.В. Карпущенко, М.С. Машидиева*  
АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РИСКОВ ДЛЯ АККРЕДИТОВАННЫХ  
ОРГАНОВ ИНСПЕКЦИИ

## ОЦЕНКА РИСКА В ГИГИЕНЕ

*Трин Хак Сау, Ле Ван Куанг*  
МНОГОЛЕТНЯЯ ЭКСПОЗИЦИЯ НАСЕЛЕНИЯ  
ГЕРБИЦИДАМИ / ДИОКСИНОМ КАК ФАКТОР  
РИСКА ЗДОРОВЬЮ

*А.Д. Поляков, М.Ю. Комбарова, А.С. Радилов, Л.А. Алибаева,  
И.Ш. Якубова, А.В. Суворова, О.Г. Хуртсилава*  
ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ,  
ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ТЕРРИТОРИИ ВЛИЯНИЯ  
КОСМОДРОМА «ВОСТОЧНЫЙ», В УСЛОВИЯХ  
МНОГОФАКТОРНОЙ МНОГОСРЕДОВОЙ ЭКСПОЗИЦИИ  
ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

*Н.В. Ефимова, О.Г. Богданова*  
ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ  
И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ,  
АССОЦИИРОВАННЫХ С НЕИНФЕКЦИОННЫМИ  
АЛИМЕНТАРНО-ЗАВИСИМЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

*С.Ф. Соснина, П.В. Окатенко, М.Э. Сокольников*  
РИСК МЛАДЕНЧЕСКОЙ СМЕРТНОСТИ СРЕДИ  
ПОТОМКОВ РАБОТНИКОВ РАДИАЦИОННО-ОПАСНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА

*Н.В. Власова, Л.М. Масыгутова, Е.Г. Степанов,  
Л.А. Рафикова, Г.Р. Садрtdинова, Л.Г. Гизатуллина*  
ФАКТОРЫ РИСКА И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА  
НАРУШЕНИЙ ЗДОРОВЬЯ ПЕДАГОГОВ  
ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ШКОЛ В СЕЛЬСКОЙ  
МЕСТНОСТИ

## PREVENTIVE HEALTHCARE: TOPICAL ISSUES OF HEALTH RISK ANALYSIS

*O.S. Kobyakova, I.P. Shibalkov, I.A. Solomatnikov,  
S.A. Timonin, A.E. Shchur, M.D. Lagutin, D.S. Tyufilin,  
I.A. Deev, S.Yu. Nikitina*  
THE MEDICAL AND DEMOGRAPHIC SITUATION  
IN RUSSIA: LONG-TERM TRENDS, PROSPECTS  
AND IMPROVEMENT POTENTIAL

*N.V. Zaitseva, M.A. Zemlyanova,  
Yu.V. Koldibekova, E.V. Peskova*  
SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL GROUNDS  
FOR ITERATIVE PREDICTION OF RISK AND HARM  
TO HUMAN HEALTH UNDER CHEMICAL  
ENVIRONMENTAL EXPOSURES: FROM PROTEIN  
TARGETS TO SYSTEMIC METABOLIC DISORDERS

*E.V. Kovalev, M.Ya. Zanina, A.V. Motskus,  
S.A. Musienko, M.S. Mashdieva*  
REGIONAL ASPECTS IN ASSESSMENT  
OF PERFORMANCE AND EFFECTIVENESS  
OF THE RISK-BASED MODEL FOR CONTROL  
AND SURVEILLANCE ACTIVITIES IN PROVISION  
OF SANITARY-EPIDEMIOLOGICAL WELLBEING  
OF THE POPULATION

*S.P. Alekseenko, A.V. Motskus, S.A. Musienko,  
G.V. Karpushchenko, M.S. Mashdieva*  
ANALYZING AND ASSESSING RISKS FOR  
ACCREDITED INSPECTION BODIES

## RISK ASSESSMENT IN HYGIENE

*Trinh Khac Sau, Le Van Quang*  
STRUCTURE OF SOME DISEASES AND HEALTH RISKS  
FOR PEOPLE RESIDING IN SURROUNDING AREAS  
PREVIOUSLY CONTAINED HERBICIDES/DIOXIN

*A.D. Polyakov, M.Yu. Kombarova, A.S. Radilov, L.A. Alikbaeva,  
I.S. Iakubova, A.V. Suvorova, O.G. Khurtsilava*  
ASSESSMENT OF THE HEALTH RISK FOR PEOPLE  
RESIDING ON THE TERRITORY INFLUENCED  
BY THE VOSTOCHNY COSMODROME UNDER  
MULTI-FACTOR AND MULTI-ENVIRONMENT  
EXPOSURE TO CHEMICALS

*N.V. Efimova, O.G. Bogdanova*  
ASSESSMENT OF HEALTH RISK AND  
SOCIO-ECONOMIC LOSSES ASSOCIATED  
WITH NUTRITION-RELATED NON-COMMUNICABLE  
DISEASES

*S.F. Sosnina, P.V. Okatenko, M.E. Sokolnikov*  
THE RISK OF INFANT MORTALITY AMONG  
THE OFFSPRING OF THE WORKERS OF RADIATION  
HAZARDOUS PRODUCTION

*N.V. Vlasova, L.M. Masyagutova, E.G. Stepanov,  
L.A. Rafikova, G.R. Sadrtidinova, L.G. Gizatullina*  
RISK FACTORS AND INTEGRATED ASSESSMENT  
OF HEALTH DISORDERS IN TEACHERS OF RURAL  
COMPREHENSIVE SCHOOLS

- Г.Ф. Мухаммадиева, Э.Р. Шайхлисламова, Д.Д. Каримов, Д.О. Каримов, Э.Ф. Репина, Т.Г. Якупова, Э.Р. Кудояров*  
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКА РАЗВИТИЯ  
ВИБРАЦИОННОЙ БОЛЕЗНИ И ВЕГЕТАТИВНО-  
СЕНСОРНОЙ ПОЛИНЕЙРОПАТИИ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ  
ВОЗДЕЙСТВИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗА  
ПОЛИМОРФИЗМА КАНДИДАТНЫХ ГЕНОВ
- ОЦЕНКА РИСКА В ЭПИДЕМИОЛОГИИ**
- И.А. Егоров, С.С. Смирнова, А.В. Семенов*  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДУКТИВНОГО ТИПА МАШИННОГО  
ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ФАКТОРОВ РИСКА  
ИНФИЦИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ  
ВЫСОКОКОНТАГИОЗНЫМИ ВИРУСАМИ  
(НА МОДЕЛИ COVID-19)
- ОЦЕНКА РИСКА В ОРГАНИЗАЦИИ  
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ**
- С. Алекова, Р. Койчева*  
МНОЖЕСТВЕННАЯ ЛЕКАРСТВЕННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ  
УРОПАТОГЕНОВ КАК ФАКТОР РИСКА ПРИ ОКАЗАНИИ  
МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ (ОПЫТ ЦЕНТРАЛЬНОЙ  
БОЛГАРИИ)
- МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ  
ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ РИСКА**
- П.В. Трусов, М.Ю. Цинкер, Н.В. Зайцева, В.В. Нурисламов, П.Д. Свицова, А.И. Кучуков*  
ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН  
ЛОКАЛИЗАЦИИ РИСКА РАЗВИТИЯ БРОНХОЛЕГочНОЙ  
ПАТОЛОГИИ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗДУШНО-ПЫЛЕВЫХ ПОТОКОВ  
В ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЯХ И ЛЕГКИХ ЧЕЛОВЕКА
- АНАЛИТИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ**
- А.Г. Фадеев, Д.В. Горяев, П.З. Шур, Н.В. Зайцева, В.А. Фокин, С.В. Редько*  
ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ  
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО СЕКТОРА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАК ФАКТОРЫ РИСКА ДЛЯ  
ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)
- Н.И. Хорсева, П.Е. Григорьев*  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ СОТОВОЙ СВЯЗИ КАК  
ФАКТОРЫ РИСКА НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА ЦЕНТРАЛЬНУЮ НЕРВНУЮ СИСТЕМУ ДЕТЕЙ  
И ПОДРОСТКОВ (ОБЗОР).  
ЧАСТЬ 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ. ПАРАМЕТРЫ  
ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ И СЕНСОМОТОРНЫХ  
РЕАКЦИЙ
- Б.А. Ревич*  
РОЛЬ ФАКТОРОВ РИСКА ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА  
В ПАНДЕМИИ COVID-19 (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)
- Н.И. Шулакова, А.В. Тутельян, В.Г. Акимкин*  
КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ РИСКОВ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ
- НОВЫЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ,  
НОРМАТИВНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ  
ДОКУМЕНТЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
В СФЕРЕ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ**
- 111** *G.F. Mukhammadiyeva, E.R. Shaikhliislamova, D.D. Karimov, D.O. Karimov, E.F. Repina, T.G. Yakupova, E.R. Kudoyarov*  
PREDICTING THE RISK OF DEVELOPING VIBRATION  
DISEASE AND VEGETATIVE-SENSORY  
POLYNEUROPATHY UNDER VIBRATION  
EXPOSURE USING ANALYSIS OF CANDIDATE  
GENE POLYMORPHISM
- HEALTH RISK ANALYSIS IN EPIDEMIOLOGY**
- 122** *I.A. Egorov, S.S. Smirnova, A.V. Semenov*  
USING INDUCTIVE MACHINE LEARNING  
TO IDENTIFY RISK FACTORS FOR HEALTHCARE  
WORKERS TO GET INFECTED WITH HIGHLY  
CONTAGIOUS VIRUSES (BASED ON  
COVID-19 MODEL)
- RISK ASSESSMENT IN PUBLIC  
HEALTHCARE**
- 132** *S. Alekova, R. Koycheva*  
MULTIDRUG RESISTANCE OF UROPATHOGENS  
AS A RISK FACTOR IN PROVIDING MEDICAL  
CARE TO PATIENTS FROM CENTRAL  
BULGARIA
- MEDICAL AND BIOLOGICAL ASPECTS RELATED  
TO ASSESSMENT OF IMPACTS EXERTED  
BY RISK FACTORS**
- 141** *P.V. Trusov, M.Yu. Tsinker, N.V. Zaitseva, V.V. Nurislamov, P.D. Svintsova, A.I. Kuchukov*  
ASSESSING SPATIAL DISTRIBUTION OF SITES WITH  
A RISK OF DEVELOPING BRONCHOPULMONARY  
PATHOLOGY BASED ON MATHEMATICAL  
MODELING OF AIR-DUST FLOWS IN THE HUMAN  
AIRWAYS AND LUNGS
- ANALYTICAL REVIEWS**
- 153** *A.G. Fadeev, D.V. Goryaev, P.Z. Shur, N.V. Zaitseva, V.A. Fokin, S.V. Red'ko*  
HARMFUL CHEMICALS IN OCCUPATIONAL AIR  
IN THE ORE MINING SECTOR OF THE METAL  
INDUSTRY AS OCCUPATIONAL HEALTH RISK FAC-  
TORS (ANALYTICAL REVIEW)
- 162** *N.I. Khorseva, P.E. Grigoriev*  
ELECTROMAGNETIC FIELDS OF CELLULAR  
COMMUNICATION AS RISK FACTORS ABLE  
TO PRODUCE NEGATIVE EFFECTS ON THE CENTRAL  
NERVOUS SYSTEM OF CHILDREN AND  
ADOLESCENTS (REVIEW). PART 1. MODELING.  
PARAMETERS OF ELECTROENCEPHALOGRAPHY  
AND SENSORIMOTOR REACTIONS
- 170** *B.A. Revich*  
COVID-19 PANDEMIC: THE ROLE OF RISK FACTORS  
RELATED TO URBAN SPACE (ANALYTICAL REVIEW)
- 185** *N.I. Shulakova, A.V. Tutelyan, V.G. Akimkin*  
KEY ASPECTS OF OCCUPATIONAL RISKS FOR  
HEALTHCARE WORKERS
- 196** **NEW LEGAL, REGULATORY  
AND METHODOLOGICAL DOCUMENTS ISSUED  
IN THE RF IN THE SPHERE OF HEALTH RISK  
ANALYSIS**



# ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА: АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ

УДК 314.42  
DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.01



Научная статья

## МЕДИКО-ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В РОССИИ: ДОЛГОСРОЧНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ, ПРОГНОЗЫ И РЕЗЕРВЫ УЛУЧШЕНИЯ

О.С. Кобякова<sup>1</sup>, И.П. Шибалков<sup>1</sup>, И.А. Соломатников<sup>1</sup>, С.А. Тимонин<sup>1</sup>,  
А.Е. Щур<sup>1,2</sup>, М.Д. Лагутин<sup>1</sup>, Д.С. Тюфилин<sup>1</sup>, И.А. Деев<sup>3</sup>, С.Ю. Никитина<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения, Российская Федерация, 127254, г. Москва, ул. Добролюбова, 11

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Российская Федерация, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, 20

<sup>3</sup>Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Российская Федерация, 117513, г. Москва, ул. Островитянова, 1

<sup>4</sup>Федеральная служба государственной статистики, Российская Федерация, 107450, г. Москва, ул. Мясницкая, 39, стр. 1

*Оценка и прогноз изменения основных медико-демографических показателей необходимы для формирования актуальных направлений развития социальной политики государства, включая охрану здоровья населения. После пандемии COVID-19, прямо и косвенно оказавшей негативное влияние на уровень смертности населения во всем мире, интерес к оценке перспектив изменения медико-демографической ситуации возрос. Согласно средним вариантам прогнозов Отдела народонаселения Организации Объединенных Наций и Федеральной службы государственной статистики, численность населения Российской Федерации к началу 2046 г. может сократиться на 7,6–10 млн человек. Для того чтобы переломить наметившийся негативный тренд, помимо миграционного прироста, необходимы значительные усилия в поиске нетривиальных механизмов стимулирования рождаемости и снижения смертности (повышения ожидаемой продолжительности жизни) как основных компонентов, влияющих на естественный прирост и соответственно динамику численности населения.*

© Кобякова О.С., Шибалков И.П., Соломатников И.А., Тимонин С.А., Щур А.Е., Лагутин М.Д., Тюфилин Д.С., Деев И.А., Никитина С.Ю., 2024

**Кобякова Ольга Сергеевна** – доктор медицинских наук, профессор, директор (e-mail: kobyakovaos@mednet.ru; тел.: 8 (495) 619-10-83; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0098-1403>).

**Шибалков Иван Петрович** – кандидат экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела научных основ организации здравоохранения (e-mail: shibalkovip@mednet.ru; тел.: 8 (495) 618-31-83; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4255-6846>).

**Соломатников Иван Алексеевич** – главный специалист организационного отдела (e-mail: solomatnikovia@mednet.ru; тел.: 8 (495) 618-16-14; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7013-9054>).

**Тимонин Сергей Андреевич** – кандидат географических наук, доцент, главный специалист отдела демографии (e-mail: s.timonin@mednet.ru; тел.: 8 (495) 618-22-01; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6651-2023>).

**Щур Алексей Евгеньевич** – кандидат социологических наук, главный специалист управления статистики; старший преподаватель кафедры демографии Института демографии имени А.Г. Вишневого, старший научный сотрудник Международной лаборатории исследований населения и здоровья (e-mail: aschur@hse.ru; тел.: 8 (495) 618-22-01; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3880-3832>).

**Лагутин Максим Дмитриевич** – менеджер управления стратегического развития здравоохранения (e-mail: lagutinmd@mednet.ru; тел.: 8 (495) 618-31-83; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4528-509X>).

**Тюфилин Денис Сергеевич** – начальник управления стратегического развития здравоохранения (e-mail: tyufilinds@mednet.ru; тел.: 8 (495) 618-29-13; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9174-6419>).

**Деев Иван Анатольевич** – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры управления, экономики здравоохранения и медицинского страхования (e-mail: kafedra-rgmu@mail.ru; тел.: 8 (495) 434-17-56; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4449-4810>).

**Никитина Светлана Юрьевна** – кандидат экономических наук, начальник управления статистики населения и здравоохранения (e-mail: mail@mednet.ru; тел.: 8 (495) 618-31-83; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0749-0965>).

*Исследованы долгосрочные медико-демографические тенденции в Российской Федерации и определены резервы роста показателей рождаемости, ожидаемой продолжительности жизни и снижения смертности. Информационной базой исследования послужили данные Росстата о численности и половозрастной структуре населения, рождаемости, смертности, ожидаемой продолжительности жизни как по России в целом, так и в разрезе регионов, а также данные Федерального реестра медицинских документов о смерти за период 1970–2023 гг. (с прогнозом до 2046 г.).*

*Наблюдаемые демографические тенденции в Российской Федерации, с одной стороны, соответствуют мировым трендам и описываются теорией демографического перехода, с другой – отмечается существенная региональная гетерогенность. В связи с этим выработать единый универсальный подход к трансформации системы здравоохранения затруднительно, однако можно выделить актуальные для всех субъектов Российской Федерации направления деятельности по укреплению демографического потенциала.*

*По итогам исследования выделены два приоритетных направления работы по улучшению медико-демографической ситуации в части снижения смертности, требующих разного набора мероприятий: 1) увеличение среднего возраста смерти от хронических неинфекционных заболеваний, на которые приходится более 70 % умерших как в России, так и других развитых странах; 2) минимизация смертности от внешних причин смерти (травм, ДТП, самоубийств, отравлений и т.д.) и инфекционных заболеваний.*

**Ключевые слова:** демография, смертность, рождаемость, ожидаемая продолжительность жизни, риски потерь, Российская Федерация, прогноз, медико-демографические тенденции.

Оценка тенденций изменения основных медико-демографических показателей является одним из ключевых процессов для системы здравоохранения каждой страны [1]. Полученные по итогам мониторинга выводы играют важную роль в формировании социальной политики государства, включая охрану здоровья населения [2].

После пандемии COVID-19, негативно повлиявшей на показатели смертности во всем мире [3], интерес к оценке долгосрочных перспектив медико-демографической ситуации усилился. Согласно последним оценкам Отдела народонаселения Организации Объединенных Наций (ООН) на 1 января 2021 г., Россия занимала девятую строчку в рейтинге стран по численности населения<sup>1</sup>. Согласно среднему варианту прогноза ООН, Россия может опуститься на 14-ю позицию к началу 2046 г. при сокращении численности населения на 10 млн человек (-7,2 %), что наиболее близко к среднему варианту прогноза Федеральной службы государственной статистики (Росстат), прогнозирующей снижение численности на 7,6 млн человек<sup>2</sup>.

Изучение динамики показателей рождаемости, смертности и ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ) как основных компонентов, влияющих на изменение численности населения, становится особенно актуальным при формировании долгосрочных прогнозов. Для обеспечения устойчивого роста численности населения Российской Федерации, помимо миграционного прироста, в долгосрочной перспективе необходимы усилия в поиске и реализации резервов стимулирования рождаемости, снижения смертности и повышения ОПЖ.

**Цель исследования** – выявить долгосрочные медико-демографические тенденции в Российской

Федерации и резервы роста показателей рождаемости, ожидаемой продолжительности жизни и снижения смертности

**Материалы и методы.** Проведен анализ данных Федерального реестра медицинских документов о смерти (ФРМДС) и баз Росстата за период 1970–2023 гг. (с прогнозом до 2046 г.) о численности населения, половозрастной структуре населения, рождаемости, смертности, ОПЖ как по России в целом, так и в разрезе регионов. Для наглядности выявленных тенденций субъекты группировались по федеральным округам (для суммарного коэффициента рождаемости (СКР)) и по плотности населения (для общего коэффициента смертности и ОПЖ).

Поскольку общий коэффициент смертности существенно зависит от возрастной структуры населения, в частности от изменения доли детей или пожилых лиц в популяции, для оценки результирующих демографических показателей в соответствии с мировой практикой применяются стандартизованные коэффициенты смертности. В данном исследовании для целей стандартизации использован европейский стандарт возрастной структуры населения ESP 2013 (European Standard Population 2013).

При расчете смертности не использовались данные возрастной группы 0–14 лет ввиду достаточно малого числа смертей, по сравнению с остальными возрастными группами. Подход к объединению возрастов в группы является авторским и обосновывается существенными отличиями в структуре смертности по причинам на основе анализа фактических данных.

Кроме того, в данном исследовании используется понятие условно предотвратимых смертей. Концепция предотвратимой смертности была введена в работе D.D. Rutstein et al. (1976)<sup>3</sup>. «Излишними», или

<sup>1</sup> World Population Prospects 2022 [Электронный ресурс] // United Nations. – United Nations: Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2022. – URL: <https://population.un.org/wpp/> (дата обращения: 01.03.2024).

<sup>2</sup> Демография [Электронный ресурс] // Росстат: Федеральная служба государственной статистики. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/12781> (дата обращения: 01.03.2024).

<sup>3</sup> Measuring the quality of medical care. A clinical method / D.D. Rutstein, W. Berenberg, T.C. Chalmers, C.G. Child 3rd, A.P. Fishman, E.B. Perrin // N. Engl. J. Med. – 1976. – Vol. 294, № 11. – P. 582–588. DOI: 10.1056/NEJM197603112941104

«ненужными» считались случаи, которые в идеальных условиях можно было бы предотвратить или устранить [4]. В данном исследовании под условно предотвратимой смертностью подразумевались смерти людей в возрасте до 70 лет от любых причин.

**Результаты и их обсуждение. Общая численность населения.** Актуальный на конец 2023 г. прогноз Росстата по изменению численности населения России до 1 января 2046 г. формируется по трем вариантам<sup>4</sup>:

– согласно низкому варианту прогноза, численность населения уменьшится на 15,8 млн человек за 2024–2045 гг. и составит 130,6 млн человек к началу 2046 г.;

– средний вариант предполагает сокращение численности населения на 7,6 млн человек;

– высокий (наиболее оптимистичный) вариант прогноза допускает рост численности населения после середины 2030-х гг. на 4,5 млн человек (рис. 1).

**Рождаемость и естественный прирост.** Начиная с 2017 г. в России наметилась негативная тенденция в снижении абсолютного числа рождений. Согласно всем трем вариантам прогноза Росстата число смертей будет превышать число рождений вплоть до конца 2030-х гг., и только в высоком варианте прогноза сможет выйти на положительные значения к концу прогнозного периода (рис. 2).

Важно отметить, что такая ситуация является результатом как сокращения числа детей, рожденных одной женщиной, так и снижения числа женщин в отдельных репродуктивных возрастных группах, обусловленных изменением половозрастной структуры населения России. Так, в 2008 г. число женщин в возрасте 20–24 лет составляло 6,2 млн, в

то время как к 2021 г. оно сократилось практически в 2 раза – до 3,5 млн. Снизилась численность и возрастной группы 25–29 лет, однако, вероятнее всего, негативная тенденция продлится еще около 3–5 лет, после чего можно ожидать вновь рост числа женщин этого возраста. На пике своей численности на конец 2021 г. находились женщины в возрасте старше 30 лет, но их число также начнет снижаться в самой ближайшей перспективе. На рис. 3 отчетливо видна волнообразность изменения численности женщин по пятилетним возрастным группам.

Абсолютное число рождений имеет весьма большое значение и не только как один из компонентов естественного прироста населения. Именно оно определяет размер когорты (поколения) и, следовательно, будущую численность населения. Как отмечено выше, абсолютное число рождений зависит от двух факторов – численности женщин в репродуктивных возрастных группах и интенсивности деторождения.

Интенсивность деторождения характеризует СКР или, иными словами, ожидаемое число рождений на одну женщину к концу репродуктивной жизни при условии неизменности возрастных коэффициентов рождаемости, наблюдаемых в календарном году, на всем ее протяжении. За период 2000–2016 гг. рост числа рождений происходил как за счет увеличения численности женщин в наиболее фертильных возрастах 20–39 лет, так и за счет возрастания интенсивности деторождения: отмечен рост СКР с 1,19 до 1,79 ребенка на женщину в 2000 и 2016 гг. соответственно. Значительное снижение числа рождений после 2016 г. с почти 2 млн живорождений

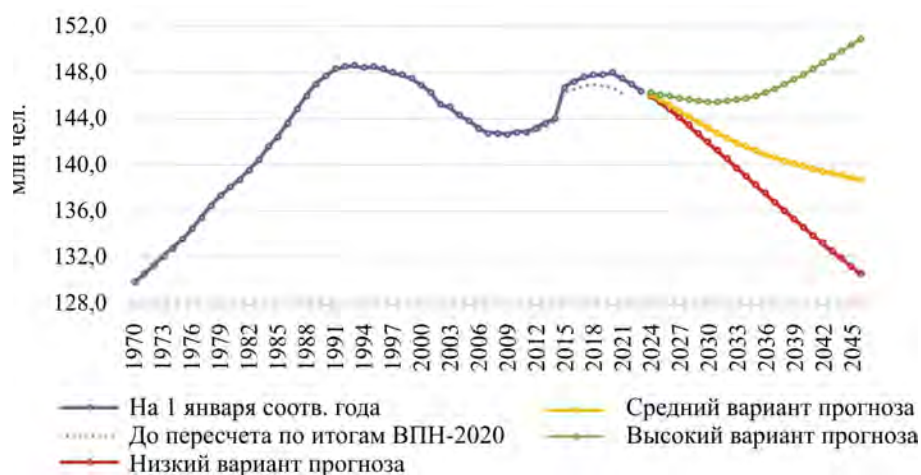


Рис. 1. Изменение численности постоянного населения России в 1970–2023 гг. и согласно трехвариантному прогнозу Росстата в 2024–2046 гг., на 1 января соответствующего года, млн человек<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Демография [Электронный ресурс] // Росстат: Федеральная служба государственной статистики. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/12781> (дата обращения: 01.03.2024).

<sup>5</sup> Данные представлены с учетом ретроспективной переоценки численности населения за 2012–2021 гг. по итогам Всероссийской переписи населения (ВПН) Российской Федерации 2020–2021 гг. Пунктирная линия на графике – численность населения до переоценки. Основная причина существенной корректировки численности населения, проведенной после переписи, – недоучет миграции в период с 2010 по 2021 г.





Рис. 2. Изменение абсолютного числа рождений и смертей в России в 2000–2023 гг. и согласно трехвариантному прогнозу Росстата на 2024–2045 гг., тыс. человек

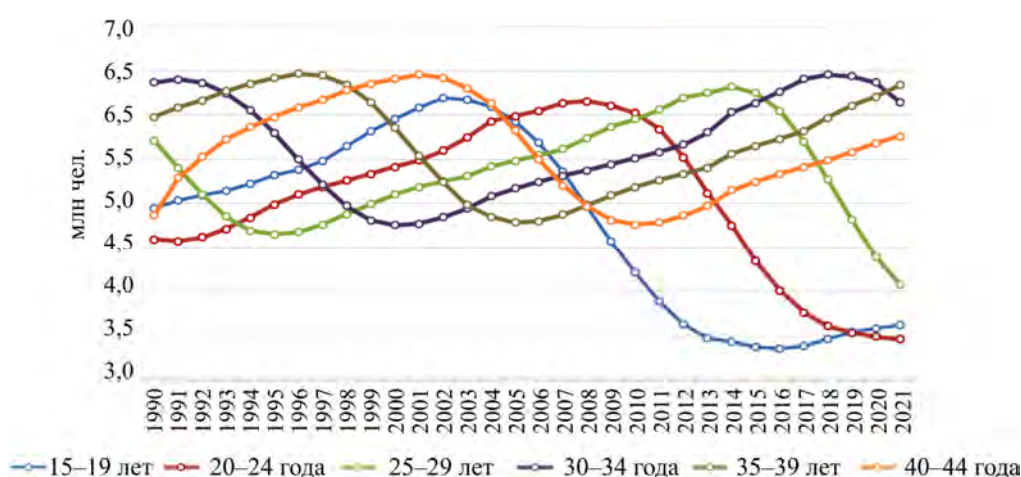


Рис. 3. Изменение числа женщин в отдельных репродуктивных возрастах в 1990–2022 гг.

в 2015 г. до 1,26 млн в 2023 г.<sup>6</sup> стало следствием как сокращающегося числа женщин в репродуктивном возрасте, так и снижения интенсивности деторождения (в большей степени). Несмотря на то, что значения СКР в 2020-е гг. выше показателей начала 2000-х гг., абсолютное число рождений приблизилось к уровню 2000 г., отличавшегося одним из самых низких значений данного показателя за всю историю современной России. Это является следствием менее благоприятной возрастной структуры – снижения числа женщин репродуктивного возраста.

Согласно прогнозу Росстата, нас ждет увеличение интенсивности деторождения: особенно быстрыми темпами после 2027 г. в высоком и среднем (наиболее вероятном) вариантах прогноза, при этом уровень 2016 г. так и не будет достигнут. Низкий вариант прогноза предусматривает в среднесрочной перспективе стагнацию СКР на нынешнем уровне 1,4–1,45 рождений на одну женщину. Синхронно с ростом интенсивности деторождения Росстат прогнозирует и увеличение абсолютного числа рождений, начиная с 2030-х гг., причем даже при низком вари-

анте прогноза, при котором суммарный коэффициент рождаемости не растет. Это означает, что в 2030-е и особенно в 2040-е годы нас ждет увеличение численности женщин в репродуктивных возрастных группах, что при прочих равных условиях должно благоприятно сказаться на абсолютном числе рождений.

СКР можно рассчитывать как для всех рождений, так и по очередности рождения, причем суммарные коэффициенты по очередности рождения аддитивны. Самый значительный вклад в увеличение СКР в 2006–2016 гг. внес рост рождаемости вторых детей, в том числе обусловленный реализацией программы материнского капитала. Примерно в этот же период начался быстрый рост рождаемости третьих и последующих детей, при этом если рождаемость вторых детей, как и первых, быстро снижалась после 2016 г., то рождаемость более высоких очередностей продолжила расти. После продолжительного снижения СКР первых рождений впервые незначительно вырос в 2022 г., при этом СКР вторых рождений, напротив, существенно снизился, обусловив снижение СКР всех рождений.

<sup>6</sup> Отчетная форма Естественное движение населения (ЕДН) (за 12 месяцев) // Росстат. – 2023.

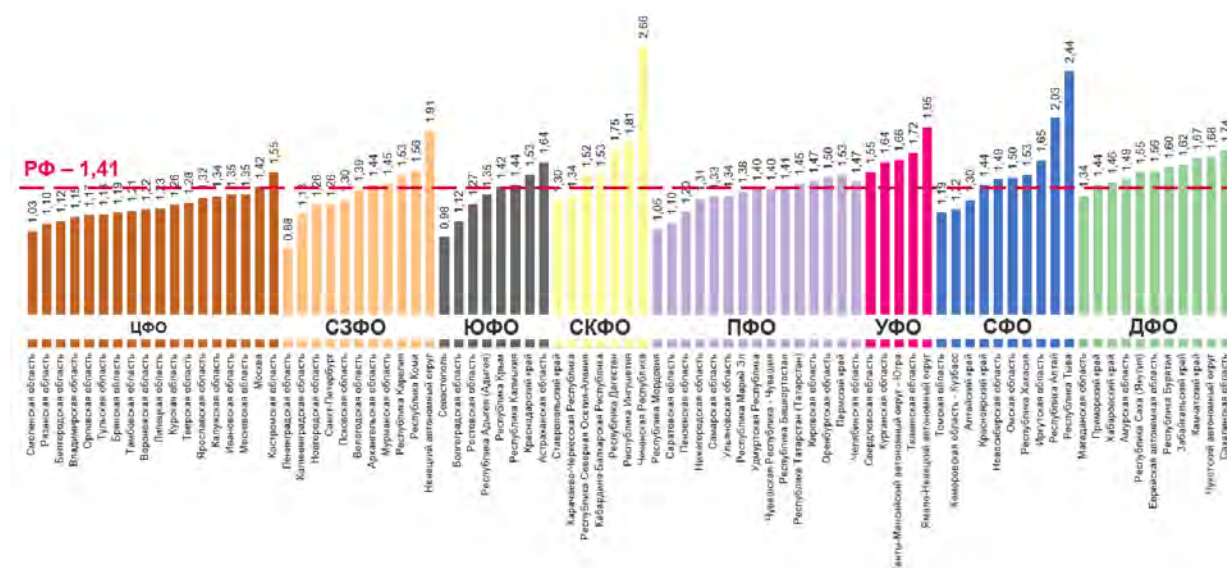


Рис. 4. Суммарный коэффициент рождаемости в разрезе субъектов Российской Федерации (в границах 2021 г.) в 2023 г.<sup>7</sup>

При анализе данных о рождаемости в разрезе субъектов Российской Федерации установлено, что за исключением ряда регионов, где демографический переход от высоких уровней рождаемости и смертности населения к низким начался значительно позже, чем в стране в целом (Чеченская Республика, Республики Тыва и Алтай), рождаемость в субъектах в 2023 г. варьировалась в достаточно узком диапазоне 1,2–1,6 рождений на женщину при среднем значении 1,41. При этом в ряде регионов России (г. Севастополь, Республика Мордовия (особенно стоит Ленинградская область, где СКР составляет 0,88, так как существенная часть рождений регистрируется в Санкт-Петербурге, что искусственно занижает показатели для региона)) СКР приблизился к крайне низкому значению – один ребенок на женщину (рис. 4).

Таким образом, географическая картина дифференциации уровня рождаемости в России весьма устойчива и за последние десятилетия претерпела мало изменений: рождаемость была выше среднероссийских значений в большинстве регионов азиатской части страны (особенно Тюменской области и округах), в том числе во всех регионах Дальневосточного ФО и в большинстве регионов Северо-Кавказского ФО, а ниже – в Центральной России, регионах Черноземья и Нижней Волги; при этом в регионах северной части Европейской России уровень рождаемости, как правило, выше, чем в более южных. В целом наблюдается сильная географическая корреляция в уровне рождаемости, что может указывать в первую очередь на ее социокультурную детерминацию.

**Смертность.** Смертность является одним из трех компонентов изменения численности населения, а также косвенным индикатором состояния здоровья популяции и благополучия общества в целом. Индивидуальный риск смерти биологически зависит от возраста человека – пик отмечается в младенчестве, минимальные значения в детском и подростковом возрастах и дальнейший экспоненциальный рост по мере старения. На значение общего коэффициента смертности существенное влияние оказывает возрастная структура населения, поэтому для характеристики демографической ситуации крайне важен не только сам факт смерти, но и возраст, в котором она наступает. Именно эта величина отражает эффективность работы институтов охраны здоровья населения.

На каждые 100 девочек и в мире, и в России рождается 103–105 мальчиков. При этом, начиная с 20-летнего возраста, уже отмечается превышение абсолютного количества умерших мужчин над женщинами. Подобная тенденция сохраняется до наступления возраста 80 лет, в котором начинают преобладать случаи смерти женщин, что в первую очередь обусловлено существенно меньшим количеством мужчин, доживающих до этого возраста. Подобный уровень дифференциации смертности по полу характерен для всех стран (смертность мужчин выше, чем у женщин), однако особенностью России является значимая величина этой разницы.

За период 1999–2023 гг. общий коэффициент смертности в целом снизился с 14,6 до 12,0 случая на 1 тыс. человек (на 21,7 %), в том числе с 16,2 до 13,3 среди мужчин (на 21,8 %) и с 13,2 до 10,9 среди

<sup>7</sup> Суммарный коэффициент рождаемости [Электронный ресурс] // ЕМИСС: Единая межведомственная информационно-статистическая система. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31517> (дата обращения: 17.04.2024).

женщин (21,1 %). То есть темпы снижения смертности не имели существенных различий между мужским и женским населением.

Согласно актуальному прогнозу Росстата, общий коэффициент смертности в 22-летней перспективе может незначительно увеличиться в среднем варианте – до 13,2 случая на 1 тыс. человек, вырасти до 15,5 случая (на 22,6 %) в низком варианте или снизиться до 9,9 случая (на 21,2 %) в высоком варианте. Таким образом, благоприятный вариант развития предполагает сохранение тренда снижения смертности, отмечавшегося с начала XXI в. (свыше 20 % в течение 22 лет – рис. 5).

После расчета стандартизованного коэффициента смертности по стандарту ESP 2013 установлено, что за период 1999–2023 гг. его величина снизилась на 55,2 % в целом в популяции, на 59,1 % среди мужчин и на 56,5 % среди женщин. Таким образом,

учет влияния фактора изменения возрастной структуры населения отражает более интенсивное снижение смертности в России, но значительно не меняет разницу в интенсивности снижения показателя между мужчинами и женщинами.

Смертность населения, как и рождаемость, крайне неоднородна от региона к региону и варьируется от 346,2 смерти на 100 тыс. населения в Республике Ингушетия до 1671,7 в Псковской области. Данные 2023 г. позволяют сделать вывод, что плотность населения оказывает влияние на уровень смертности, но не является решающей. Так, в одной группе субъектов РФ по уровню плотности общий коэффициент смертности может отличаться до 3,2 раза (рис. 6).

Кроме того, положительная динамика снижения смертности, отмечаемая по стране в целом, имеет ярко выраженную региональную специфику за период 2019–2023 гг. По сравнению с 2019 г.,

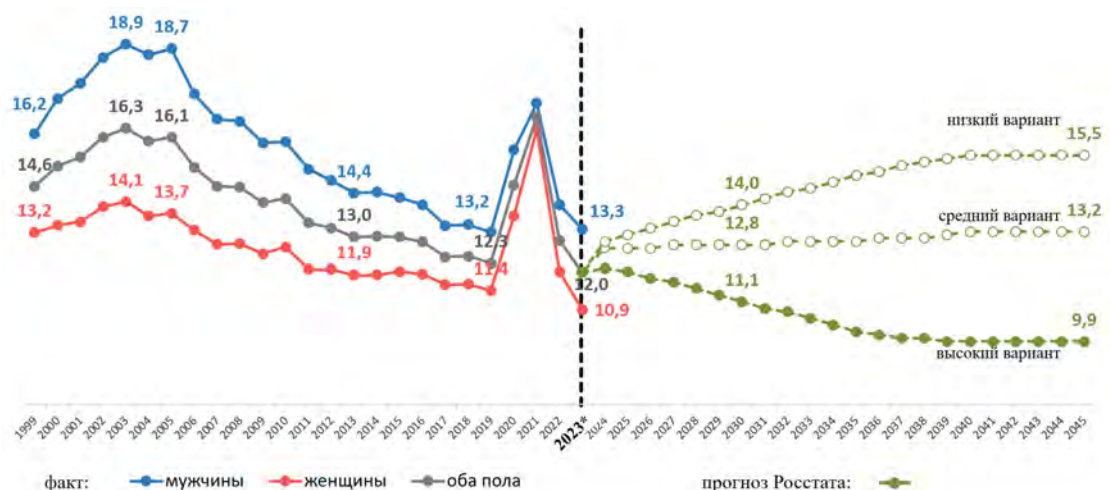


Рис. 5. Динамика и прогноз общего коэффициента смертности от всех причин на 1 тыс. населения (расчет по данным ФРМДС за 12 месяцев 2023 г.)

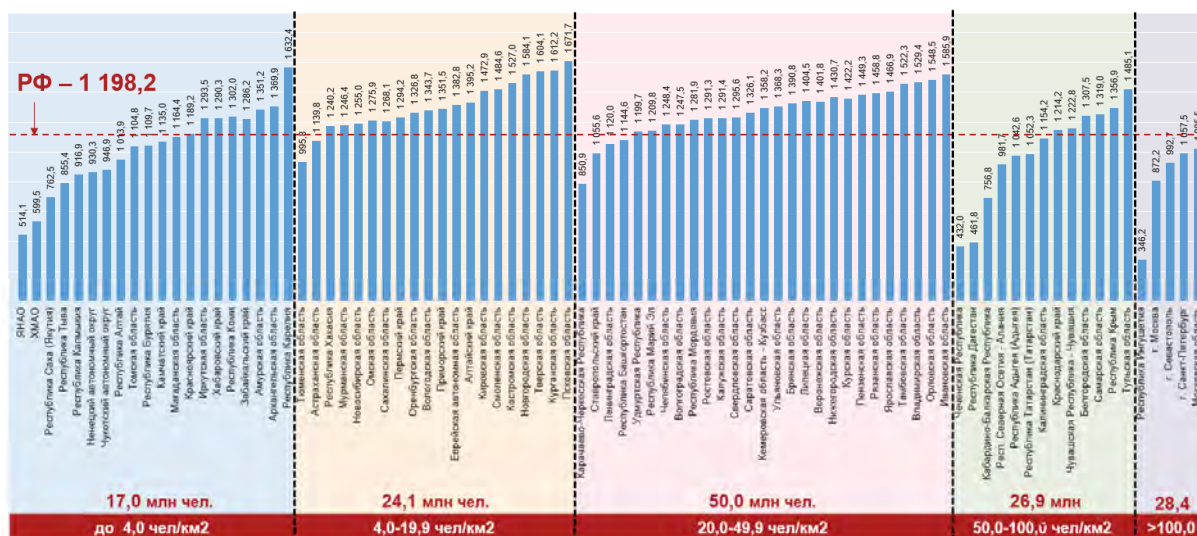


Рис. 6. Общий коэффициент смертности населения по субъектам Российской Федерации в зависимости от плотности населения за 12 месяцев 2023 г. (расчет по данным ФРМДС за 12 месяцев 2023 г.)



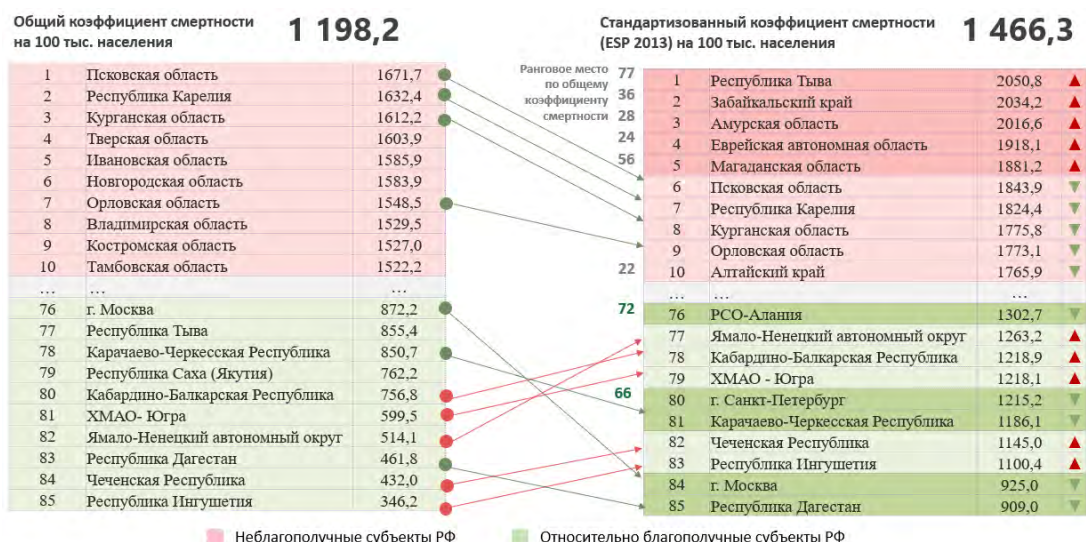


Рис. 7. Общие и стандартизованные коэффициенты смертности (ESP 2013) по отдельным субъектам Российской Федерации, на 100 тыс. населения, за 12 месяцев 2023 г. (расчет по данным ФРМДС за 12 месяцев 2023 г.)

снижение смертности отмечено в 61 субъекте РФ, а рост зарегистрирован в 24. При этом среднее значение снижения смертности по РФ составило -3,8 %.

Территориальные отличия существенны и в структуре смертности по возрасту. Доля умерших в трудоспособном возрасте существенно во всех субъектах РФ. При этом доля умерших в возрасте до 70 лет (условно предотвратимые смерти) в Москве составляет 41,8 % от общего числа умерших, а в Чукотском автономном округе – 84,5 %.

Стандартизация показателей общей смертности существенно меняет ранговые места регионов России, поднимая на более высокие места субъекты с более молодым населением и наоборот: например, Республика Тыва с 77-го места переместилась на первое (рис. 7).

**Смертность по причинам смерти.** Долгосрочная динамика количества умерших по большинству причин смерти также может быть охарак-

теризована как положительная: снижение отмечается по всем трем основным классам (болезни системы кровообращения (БСК), новообразования, внешние причины). Тем не менее, несмотря на существенные успехи, достигнутые по снижению смертности от ключевых причин смерти, результаты сопоставления с международными данными позволяют сделать вывод о сохраняющихся резервах.

Дифференциация в разрезе причин смерти также отмечается между мужчинами и женщинами. По многим классам заболеваний возраст смерти не превышает 70 лет или находится рядом с этой границей, особенно среди мужчин. Также значимой является разница по полу: если по новообразованиям она составляет чуть менее двух лет, то по БСК и болезням органов пищеварения – более 8 лет в пользу женщин.

С увеличением возраста меняется и структура смертности по причинам смерти (рис. 8).

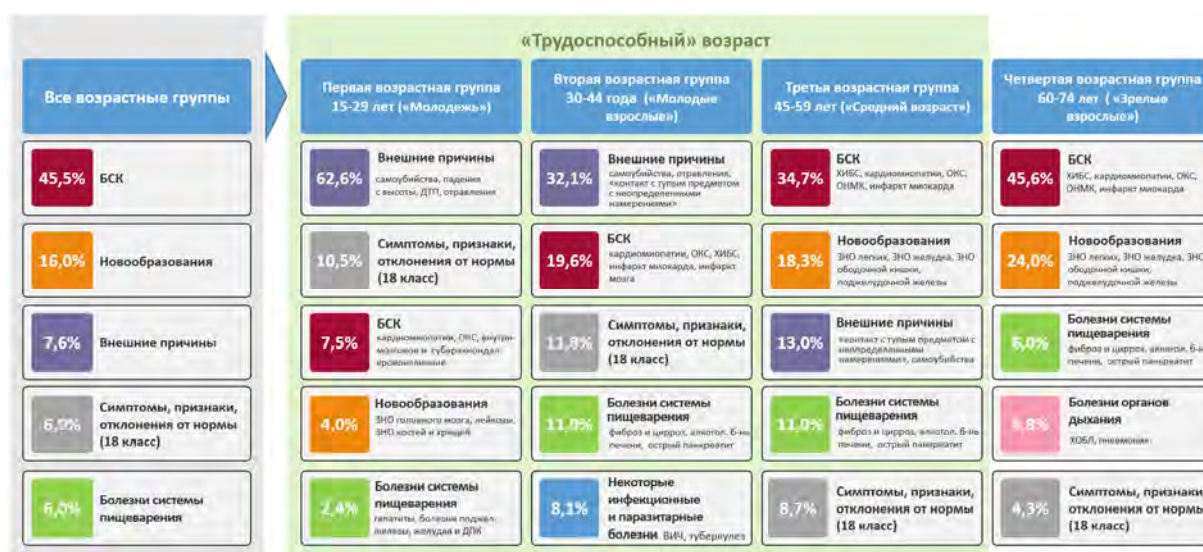


Рис. 8. Доля (%) основных причин смерти по возрастным группам населения за 12 месяцев 2023 г. в целом по России (расчет по данным ФРМДС за 12 месяцев 2023 г.)

С одной стороны, подобное изменение структуры является естественным: в более молодом возрасте основной причиной смерти являются травмы и отравления, в более пожилом – заболевания, ассоциированные со старением (БСК, новообразования). С другой стороны, любая смерть в возрасте до 70 лет является условно предотвратимой (согласно оценкам ВОЗ) и зависит не только от поведенческих факторов риска (в первую очередь, смерти, являющиеся следствием рискованного поведения под воздействием алкоголя), но и скорости и качества оказания медицинской помощи при возникновении необходимости в ней (особенно в случае внешних причин – травм, дорожно-транспортных происшествий (ДТП), инфекционных заболеваний), а также профилактической направленности и доступности первичного звена здравоохранения (в случае смерти от БСК, болезней органов пищеварения, новообразований и т.д.). Так, среди целей устойчивого развития есть индикатор смертности людей до 70 лет от ведущих неинфекционных патологий<sup>8</sup>.

**Ожидаемая продолжительность жизни населения при рождении.** ОПЖ как результирующий демографический показатель не имеет методологических недостатков общего коэффициента смертности и поэтому не требует применения стандартизации. Динамика ОПЖ в целом по России представлена на рис. 9.

С 1999 по 2023 г. ОПЖ всего населения выросла на 7,5 г., в частности на 8,1 г. среди мужчин и на 6,4 г. среди женщин. Как и в случае с общим и стандартизованным коэффициентами смертности, на-

блюдаемая дифференциация по полу в уровне ОПЖ характерна для многих развитых стран, но в России она в первую очередь объясняется поведенческими факторами риска [5]. Согласно авторским расчетам, из разницы в 10,7 года 2–3 года могут быть обусловлены злоупотреблением алкоголя, а 3–4 г. – курением и ассоциированными с ним заболеваниями [5]. Вклад различных причин смерти в резервы роста ОПЖ представлен в таблице.

Как и в случае со смертностью, основные резервы роста находятся среди условно предотвратимых категорий – умершие до 70 лет и от внешних причин смерти. При этом для повышения среднего возраста смерти наибольший акцент следует сделать на снижении смертности лиц трудоспособного возраста (в первую очередь мужчин). Работа с этой группой принесет государству эффект «быстрых побед».

Несмотря на меньшую величину различий (по сравнению с показателем общей смертности), в разрезе субъектов РФ также отмечается существенная дифференциация уровня ОПЖ. Однако группировка регионов по численности населения не позволяет выявить существенных отличий в уровне ОПЖ и не подтверждает предположения о корреляции данных параметров (рис. 10).

При анализе динамики ОПЖ за период 2019–2023 гг. установлено, что, по сравнению с 2019 г., рост показателя произошел в 32 субъектах РФ, в 53 регионах еще идет процесс восстановления допандемийного уровня. При этом рост ОПЖ за данный период по России в целом составил 0,07 года (рис. 11).

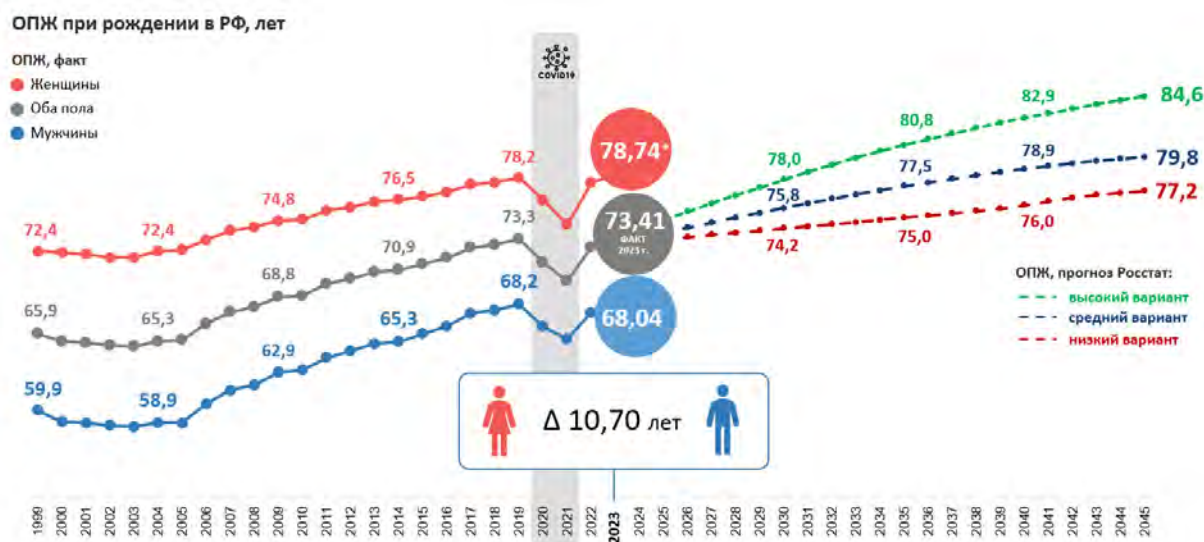


Рис. 9. Динамика ОПЖ в России, количество лет

<sup>8</sup> World Health Statistics 2024: Tables of health statistics by country and area, WHO region and globally [Электронный ресурс] // WHO. – URL: <https://www.who.int/data/gho/whs-annex/> (дата обращения: 01.03.2024).



Резервы роста ОПЖ при условии снижения смертности на модели данных 2023 г.  
с учетом гендерного и возрастного профиля

Заболевание	Оба пола			Мужчины			Женщины		
	Все возраста	0–70 лет	15–59 лет	Все возраста	0–70 лет	15–59 лет	Все возраста	0–70 лет	15–59 лет
Все причины смерти	13,18	8,82	5,63	14,36	10,76	7,16	10,86	5,90	3,42
Болезни системы кровообращения	5,08	2,81	1,60	5,29	3,54	2,11	4,40	1,72	0,83
Новообразования	1,96	1,46	0,82	1,99	1,50	0,77	1,94	1,41	0,85
Внешние причины смерти	1,25	1,22	1,01	1,78	1,73	1,48	0,53	0,50	0,42
Болезни органов пищеварения	0,91	0,80	0,67	0,95	0,90	0,76	0,78	0,65	0,54
Болезни органов дыхания	0,55	0,42	0,31	0,72	0,58	0,38	0,35	0,23	0,12
Болезни эндокринной системы	0,28	0,21	0,10	0,19	0,19	0,08	0,33	0,23	0,10
Симптомы, признаки и отклонения от нормы (класс 18)	1,03	0,81	0,70	1,24	1,08	0,94	0,68	0,44	0,33
Болезни нервной системы	0,49	0,16	0,05	0,46	0,26	0,15	0,52	0,11	0,00
Другие причины смерти	1,63	0,93	0,37	1,74	0,98	0,49	1,33	0,61	0,23

Примечание: расчет по данным ФРМДС за 12 месяцев 2023 г.

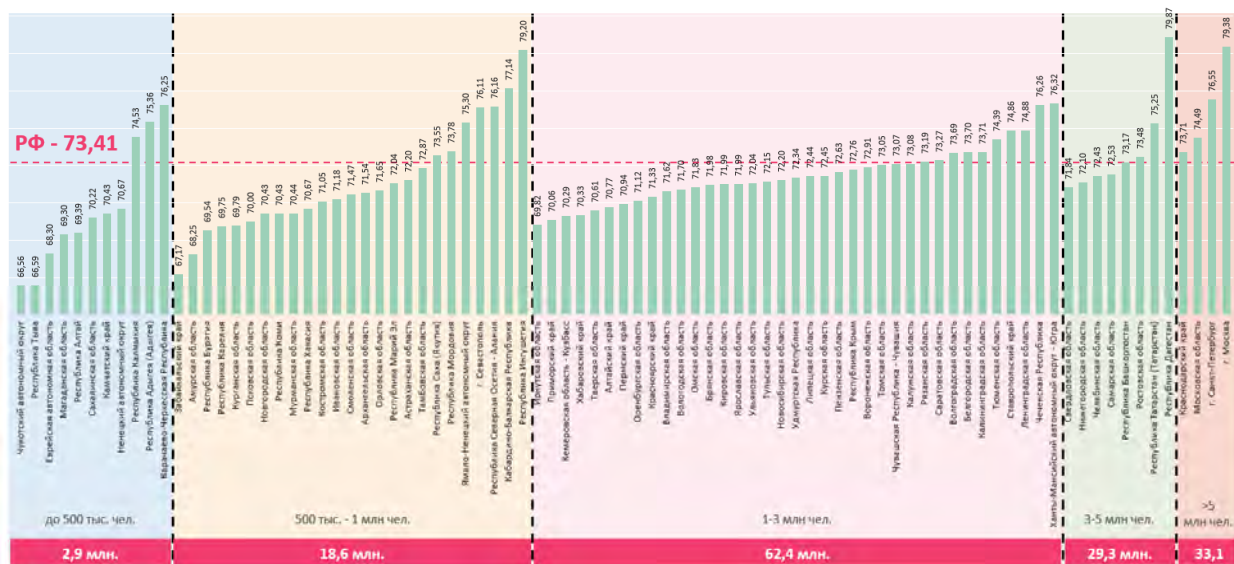


Рис. 10. ОПЖ в разрезе групп субъектов Российской Федерации в зависимости от численности населения (2023)

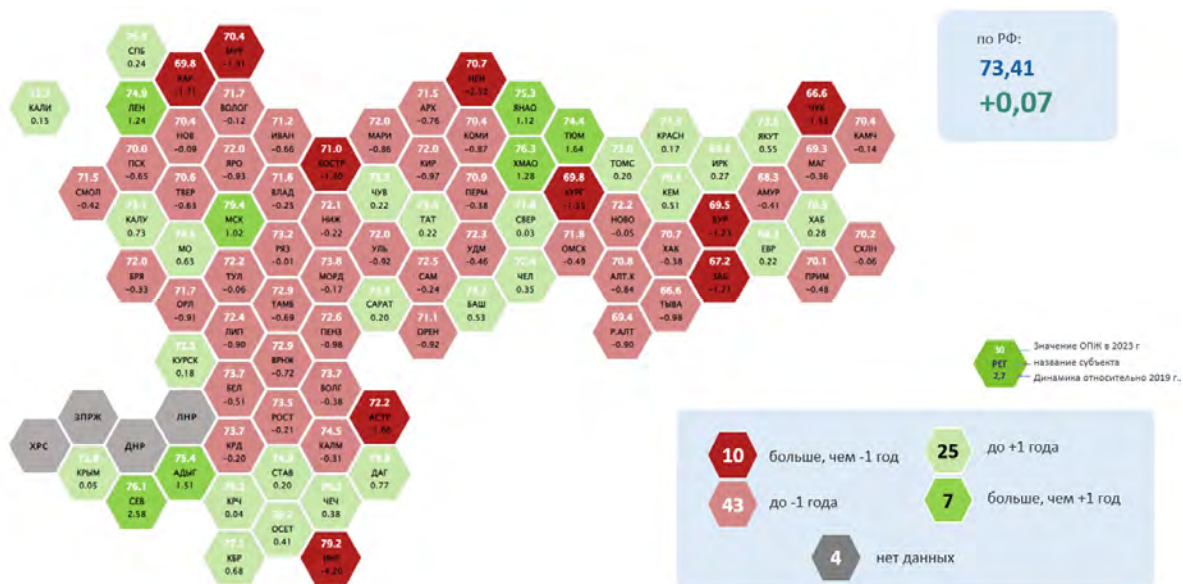


Рис. 11. Величина ОПЖ в 2023 г. и разница в показателе ОПЖ между 2019 и 2023 гг., количество лет (данные Росстат)

Как и в случае со смертностью, в региональном разрезе отмечаются существенные отличия между ОПЖ мужчин и женщин. Минимальная разница отмечается в республиках Северного Кавказа, Москве и Санкт-Петербурге – от 4 до (максимум) 8 лет. Наибольшая разница в 12 лет и более отмечается в Брянской, Костромской и Курганской областях, республиках Алтай, Чувашия, Марий Эл, Удмуртия и Бурятия.

Резервы роста ОПЖ по классам заболеваний также крайне неоднородны по субъектам РФ. Анализируя структуру резервов роста ОПЖ на примере Самарской области, Республики Ингушетия и Республики Тыва, можно отметить, что доля класса внешних причин смерти может отличаться до двух раз и более. Такой же вывод справедлив и для БСК, что, учитывая возрастную структуру смертности от этих патологий, демонстрирует разную величину резервов роста ОПЖ по условно предотвратимым причинам смерти (рис. 12).

Наблюдаемые демографические тенденции, с одной стороны, соответствуют мировым трендам и описываются теорией демографического перехода, с другой – отмечается существенная региональная гетерогенность. В связи с этим выработать единый универсальный подход к трансформации системы здравоохранения затруднительно, однако можно выделить актуальные для всех субъектов Российской Федерации направления деятельности для увеличения или стабилизации численности населения.

С учетом ретроспективных оценок уровня рождаемости, а также зарубежного и отечественного опыта, для реализации имеющегося демографического потенциала (то есть интенсификации рождаемости среди женщин репродуктивного возраста) представляется целесообразным продление и разви-

тие текущей государственной политики по стимулированию рождаемости через финансовую помощь в ее различных проявлениях, создание механизмов комфортного совмещения работы и материнства, оказание медицинской помощи женщинам старшего репродуктивного возраста [6–9]. Ключевую роль в этом может сыграть продление и расширение программы материнского капитала. Эффективными могут быть такие решения, как индексация величины выплат соразмерно росту стоимости жилья (как основному направлению расходования средств капитала и ограничивающему фактору принятия решения о рождении вторых и третьих детей [10]), введение дополнительных выплат на второго, третьего и последующих детей в условиях снижения числа женщин репродуктивного возраста. Кроме того, должны учитываться социокультурные факторы, которые обуславливают территориальную дифференциацию показателя рождаемости.

Структура и динамика смертности населения в России в целом и ее субъектах позволяют выделить два приоритетных направления работы по улучшению медио-демографической ситуации: 1) реализация мероприятий, результатом которых станет увеличение среднего возраста смерти от хронических неинфекционных заболеваний (ХНИЗ), которые составляют более 70 % от общего числа умерших как в России, так и в других развитых странах [11]; 2) реализация мероприятий по минимизации смертности от внешних причин смерти и инфекционных заболеваний.

Анализ отечественных региональных практик, а также зарубежного опыта позволил выделить следующие меры по снижению условно предотвратимой смертности, которые могут быть приняты на федеральном и региональном уровнях.

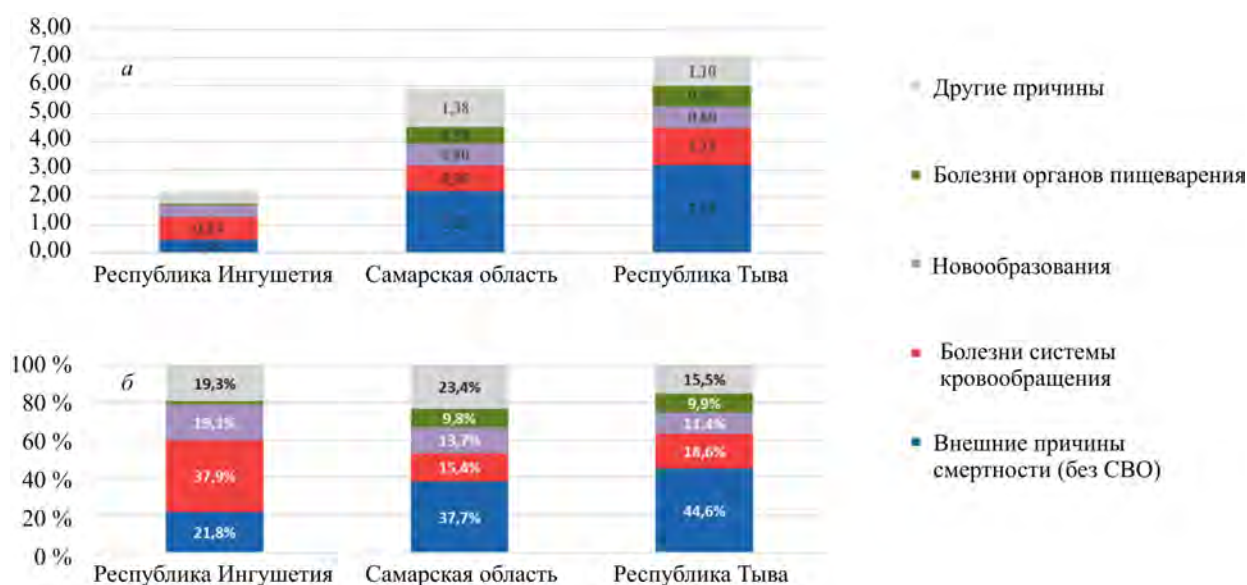


Рис. 12. Различия резервов роста ОПЖ в различных классах заболеваний в 2022 г.: а – резервы роста ОПЖ при исключении смертности от выбранного класса в возрасте 15–59 лет, количество лет; б – структура резервов роста ОПЖ при исключении смертности от выбранного класса в возрасте 15–59 лет, %

Факторы риска ХНИЗ являются общими практически для всех входящих в эту группу патологий и делятся на поведенческие (к ним относятся злоупотребление алкоголем, курение, стресс, низкая физическая активность, неправильное питание) и метаболические (избыточная масса тела, повышенное артериальное давление, гиперхолестеринемия, гипергликемия).

Разработка и реализация мероприятий для снижения уровня злоупотребления алкоголем среди населения занимает важнейшую роль не только для профилактики ХНИЗ, но и снижения числа смертей от внешних причин [5]. Реализованные в России меры эффективны, однако важно продолжать повышение акцизов и цен на алкогольную продукцию, прежде всего, на крепкие напитки, сокращать доступность алкоголя по времени, местам и возрасту продажи, особенно в регионах, где наблюдается высокий уровень потребления алкоголя [12]. Кроме того, необходимо расширение медицинской профилактики злоупотребления алкоголем путем расширения практики психологических консультаций не только в рамках профилактических осмотров, но и при оказании других видов медицинской помощи (по специальности травматология, кардиология, гастроэнтерология и т.д.) [13].

Эффективные антитабачные меры включают повышение акцизов и цен на табачную продукцию, введение стандартизированной упаковки, запрет использования ароматизаторов, сокращение числа точек продаж, социальную рекламу и расширение лечения никотиновой зависимости [14]. Для формирования культуры здорового питания необходимо ввести маркировку питания, запрет рекламы нездоровых продуктов, повысить акцизы и цены на подслащенные газированные напитки, проводить социальную рекламу здорового питания и йодировать соль [15–18]. Поддержка физической активности включает создание «моды» на здоровый образ жизни, использование социальных сетей и лидеров мнения, налоговые льготы для спортивных людей и компаний и др. [19, 20].

Поддержка пациентов с метаболическими факторами риска включает активное выявление и лечение гипертонии, гиперхолестеринемии, сахарного диабета, использование электронных регистров для проактивного прозвона и регулярного приглашения на прием, делегирование части нагрузки врачей-

терапевтов на вспомогательный персонал, полное государственное финансирование лекарств для лечения сердечно-сосудистых заболеваний [21].

Для снижения смертности от внешних причин, помимо антиалкогольных мер и исследования причин несчастных случаев, необходимо продолжать профилактику гибели при ДТП, включая ограничение скорости и автоматизированный контроль, борьбу с вождением в состоянии опьянения, использование шлемов, ремней безопасности и детских автокресел, улучшение инфраструктуры и информационный обмен с Главным управлением по обеспечению безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел Российской Федерации [22]. Кроме того, важно реализовывать мероприятия по профилактике самоубийств, для этого необходимо повышать доступность психиатрической помощи населению [23].

**Выводы.** В связи с устойчивым трендом роста ОПЖ при снижающемся уровне рождаемости неизбежно ускоряется старение населения. При этом, несмотря на региональные особенности, эти тенденции отмечаются в каждом субъекте РФ, отличаясь только скоростью и интенсивностью. Учитывая высокую инертность демографических процессов, подобная динамика сохранится и, вероятно, усилится в средне- и долгосрочной перспективе.

В настоящее время остается актуальным дальнейшее развитие и совершенствование реализуемой государством демографической политики. При этом для укрепления демографического потенциала страны целесообразно научно обосновать направления и инструменты минимизации рисков медико-демографических потерь, включая процесс трансформации системы здравоохранения в горизонте до 2046 г. на федеральном, региональном уровнях и уровне медицинских организаций с учетом региональных демографических особенностей. На уровне федерального законодательства необходимо принять меры, которые позволят получить как быстрые, так и стратегические результаты по укреплению здоровья нации.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. GBD 2019 Demographics Collaborators. Global age-sex-specific fertility, mortality, healthy life expectancy (HALE), and population estimates in 204 countries and territories, 1950–2019: a comprehensive demographic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 // *Lancet*. – 2020. – Vol. 396, № 10258. – P. 1160–1203. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30977-6
2. Luo Y., Su B., Zheng X. Trends and Challenges for Population and Health During Population Aging – China, 2015–2050 // *China CDC Wkly*. – 2021. – Vol. 3, № 28. – P. 593–598. DOI: 10.46234/ccdcw2021.158
3. The COVID-19 pandemic and human fertility / A. Aassve, N. Cavalli, L. Mencarini, S. Plach, M. Livi Bacci // *Science*. – 2020. – Vol. 369, № 6502. – P. 370–371. DOI: 10.1126/science.abc9520

4. Variable Scales of avoidable mortality within the Russian population / T.P. Sabgayda, V.G. Semyonova, A.E. Ivanova, V.I. Starodubov // In book: Mortality in an International Perspective. – 2014. – P. 307–335. DOI: 10.1007/978-3-319-03029-6\_12
5. Родионова Л.А., Копнова Е.Д. Гендерные и региональные различия в ожидаемой продолжительности жизни в России // Вопросы статистики. – 2020. – Т. 27, № 1. – С. 106–120. DOI: 10.34023/2313-6383-2020-27-1-106-120
6. Архангельский В.Н., Фадеева Т.А. Резервы повышения рождаемости в России: к методике оценки // Уровень жизни населения регионов России. – 2022. – Т. 18, № 2. – С. 162–176. DOI: 10.19181/lsprr.2022.18.2.2
7. Улумбекова Г.Э., Гинойн А.Б., Худова И.Ю. Научное обоснование условий для повышения рождаемости в РФ в период с 2022 по 2030 г. // ОРГЗДРАВ: новости, мнения, обучение. Вестник ВШОУЗ. – 2022. – Т. 8, № 1 (27). – С. 4–22. DOI: 10.33029/2411-8621-2022-8-1-4-22
8. Kuloğlu Ş., Kizilirmak A., Kuloğlu A. The impact of social and economic factors on fertility features: a cross-country analysis // Kafkas Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi. – 2022. – Vol. 13, № 26. – P. 993–1012. DOI: 10.36543/kauiibfd.2022.041
9. The Effect of Family Fertility Support Policies on Fertility, Their Contribution, and Policy Pathways to Fertility Improvement in OECD Countries / T.-T. Zhang, X.-Y. Cai, X.-H. Shi, W. Zhu, S.-N. Shan // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2023. – Vol. 20, № 6. – P. 4790. DOI: 10.3390/ijerph20064790
10. Елизаров В.В., Джанаева Н.Г. Материнский (семейный) капитал как программа поддержки семей с детьми: итоги реализации и перспективы развития (Часть первая) // Уровень жизни населения регионов России. – 2020. – Т. 16, № 3. – С. 38–48. DOI: 10.19181/lsprr.2020.16.3.3
11. Noncommunicable diseases progress monitor 2020. – Geneva: World Health Organization, 2020. – 224 p.
12. The Lancet. Russia's alcohol policy: a continuing success story // Lancet. – 2019. – Vol. 394, № 10205. – P. 1205. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)32265-2
13. Practice facilitation to promote evidence-based screening and management of unhealthy alcohol use in primary care: a practice-level randomized controlled trial / A.N. Huffstetler, A.J. Kuzel, R.T. Sabo, A. Richards, E.M. Brooks, P.L. Kashiri, G. Villalobos, A.J. Ariaset [et al.] // BMC Fam. Pract. – 2020. – Vol. 21, № 1. – P. 93. DOI: 10.1186/s12875-020-01147-4
14. Impact of tobacco control interventions on smoking initiation, cessation, and prevalence: a systematic review / D. Bafunno, A. Catino, V. Lamorgese, G. Del Bene, V. Longo, M. Montrone, F. Pesola, P. Pizzutilo [et al.] // J. Thorac. Dis. – 2020. – Vol. 12, № 7. – P. 3844–3856. DOI: 10.21037/jtd.2020.02.23
15. Taxes and front-of-package labels improve the healthiness of beverage and snack purchases: a randomized experimental marketplace / R.B. Acton, A.C. Jones, S.I. Kirkpatrick, C.A. Roberto, D. Hammond // Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act. – 2019. – Vol. 16, № 1. – P. 46. DOI: 10.1186/s12966-019-0799-0
16. Gómez S.F., Rajmil L. Advertising, obesity and child health: the case of Spain // BMJ Paediatr. Open. – 2022. – Vol. 6, № 1. – P. e001482. DOI: 10.1136/bmjpo-2022-001482
17. Estimating the Health and Economic Benefits of Universal Salt Iodization Programs to Correct Iodine Deficiency Disorders / J.L. Gorstein, J. Bagriansky, E.N. Pearce, R. Kupka, M.B. Zimmermann // Thyroid. – 2020. – Vol. 30, № 12. – P. 1802–1809. DOI: 10.1089/thy.2019.0719
18. Global report on the use of sugar-sweetened beverage taxes, 2023. – Geneva: World Health Organization, 2023. – 59 p.
19. Zhou J. Chinese active lifestyle development: limitations and countermeasures // Revista Brasileira de Medicina do Esporte. – 2022. – Vol. 28, № 5. – P. 390–393. DOI: 10.1590/1517-8692202228052021\_0531
20. Макарова Н.В. Роль налоговой политики в решении задачи стимулирования здорового образа жизни населения // Налоги и налогообложение. – 2021. – № 3. – С. 73–85. DOI: 10.7256/2454-065x.2021.3.35421
21. Global report on hypertension: the race against a silent killer. – Geneva: World Health Organization, 2023. – 291 p.
22. Global status report on road safety 2023. – Geneva: World Health Organization, 2023.
23. Live life: an implementation guide for suicide prevention in countries. – Geneva: World Health Organization, 2021. – 142 p.

*Медико-демографическая ситуация в России: долгосрочные тенденции, прогнозы и резервы улучшения / О.С. Кобякова, И.П. Шибалков, И.А. Соломатников, С.А. Тимонин, А.Е. Щур, М.Д. Лагутин, Д.С. Тюфилин, И.А. Деев, С.Ю. Никитина // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 4–17. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.01*

**THE MEDICAL AND DEMOGRAPHIC SITUATION IN RUSSIA: LONG-TERM TRENDS, PROSPECTS AND IMPROVEMENT POTENTIAL****O.S. Kobyakova<sup>1</sup>, I.P. Shibalkov<sup>1</sup>, I.A. Solomatnikov<sup>1</sup>, S.A. Timonin<sup>1</sup>,  
A.E. Shchur<sup>1,2</sup>, M.D. Lagutin<sup>1</sup>, D.S. Tyufilin<sup>1</sup>, I.A. Deev<sup>3</sup>, S.Yu. Nikitina<sup>4</sup>**<sup>1</sup>Russian Research Institute of Health, 11 Dobrolyubova St., Moscow, 127254, Russian Federation<sup>2</sup>National Research University Higher School of Economics, 20 Myasnitskaya St., Moscow, 101000, Russian Federation<sup>3</sup>Pirogov Russian National Research Medical University, 1 Ostrovityanova St., Moscow, 117513, Russian Federation<sup>4</sup>Federal State Statistics Service, 39 Myasnitskaya St., bldg 1, Moscow, 107450, Russian Federation

*Relevant trends for shaping state social policy, including public health protection, can only be formed relying on accurate assessment and forecast of changes in key medical and demographic indicators. Following the COVID-19 pandemic, which had both direct and indirect adverse effects on population mortality across the globe, interest in evaluating possible future changes in the medical and demographic situation has increased. According to the median projections by the United Nations Population Division and the Federal State Statistics Service, the population of the Russian Federation may decrease by 7.3–10 million people by the beginning of 2046. To reverse this negative trend, substantial efforts should be taken beyond migratory growth, including finding innovative mechanisms to stimulate birth rates and reduce mortality (increase life expectancy at birth) as the primary components influencing natural population growth and, consequently, population dynamics.*

*The aim of this study is to identify long-term medical and demographic trends in the Russian Federation and explore the potential for increasing birth rates, life expectancy at birth, and reducing mortality. The research is based on data from Rosstat on population size, and age-sex structure, birth rates, mortality, and life expectancy at birth both in Russia as a whole and by regions, as well as data on deaths from Federal Register for Medical Death Documentation for the period 1970–2023 (with a forecast up to 2046).*

*Observed current demographic trends in the Russian Federation align with global trends and are described by the demographic transition theory. However, significant regional heterogeneity is noted. Therefore it is challenging to develop a unified universal approach to transforming the healthcare system. Nonetheless, it is possible to identify relevant directions for all regions of the Russian Federation to strengthen demographic potential.*

*The study identifies two priority areas for improving the medical and demographic situation in the country in terms of reducing mortality, each requiring different sets of measures: 1) increasing the average age of death from chronic non-communicable diseases that account for over 70 % of deaths both in Russia and other developed countries; 2) minimizing deaths from external causes (injuries, traffic accidents, suicide, poisoning, etc.) and infectious diseases.*

**Keywords:** demography, mortality, birth rate, life expectancy at birth, risks of losses, Russian Federation, forecast, medical and demographic trends.

© Kobyakova O.S., Shibalkov I.P., Solomatnikov I.A., Timonin S.A., Shchur A.E., Lagutin M.D., Tyufilin D.S., Deev I.A., Nikitina S.Yu., 2024

**Olga S. Kobyakova** – Doctor of Medical Sciences, Professor, director (e-mail: kobyakovaos@mednet.ru; tel.: +7 (495) 619-10-83; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0098-1403>).

**Ivan P. Shibalkov** – Candidate of Economical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher at the Department of Scientific Basis of Health Care Organization (e-mail: shibalkovip@mednet.ru; tel.: +7 (495) 618-31-83; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4255-6846>).

**Ivan A. Solomatnikov** – Chief Specialist of the Organizational Department (e-mail: solomatnikovia@mednet.ru; tel.: +7 (495) 618-16-14; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7013-9054>).

**Sergey A. Timonin** – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Chief Specialist of the Demography Department (e-mail: s.timonin@mednet.ru; tel.: +7 (495) 618-22-01; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6651-2023>).

**Aleksey E. Shchur** – Candidate of Sociological Sciences, Chief Specialist of the Statistics Department; Senior Lecturer of the Department of Demography of the Vishnevsky Institute of Demography, Senior Researcher of the International Laboratory for Population and Health (e-mail: aschur@hse.ru; tel.: +7 (495) 618-22-01; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3880-3832>).

**Maksim D. Lagutin** – Manager of the Department for Strategic Development in Healthcare (e-mail: lagutinmd@mednet.ru; tel.: +7 (495) 618-31-83; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4528-509X>).

**Denis S. Tyufilin** – Head of the Department for Strategic Development in Healthcare (e-mail: tyufilinds@mednet.ru; tel.: +7 (495) 618-29-13; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9174-6419>).

**Ivan A. Deev** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Management, Economics of Healthcare and Medical Insurance (e-mail: kafedra-rgmu@mail.ru; tel.: +7 (495) 434-17-56; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4449-4810>).

**Svetlana Yu. Nikitina** – Candidate of Economical Sciences, Head of the Department for Population and Health Statistics (e-mail: mail@mednet.ru; tel.: +7 (495) 618-31-83; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0749-0965>).



## References

1. GBD 2019 Demographics Collaborators. Global age-sex-specific fertility, mortality, healthy life expectancy (HALE), and population estimates in 204 countries and territories, 1950–2019: a comprehensive demographic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*, 2020, vol. 396, no. 10258, pp. 1160–1203. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30977-6
2. Luo Y., Su B., Zheng X. Trends and Challenges for Population and Health During Population Aging – China, 2015–2050. *China CDC Wkly*, 2021, vol. 3, no. 28, pp. 593–598. DOI: 10.46234/ccdcw2021.158
3. Aassve A., Cavalli N., Mencarini L., Plach S., Livi Bacci M. The COVID-19 pandemic and human fertility. *Science*, 2020, vol. 369, no. 6502, pp. 370–371. DOI: 10.1126/science.abc9520
4. Sabgayda T.P., Semyonova V.G., Ivanova A.E., Starodubov V.I. Variable Scales of avoidable mortality within the Russian population. In book: *Mortality in an International Perspective*, 2014, pp. 307–335. DOI: 10.1007/978-3-319-03029-6\_12
5. Rodionova L.A., Kopnova E.D. Gender and Regional Differences in the Life Expectancy in Russia. *Voprosy statistiki*, 2020, vol. 27, no. 1, pp. 106–120. DOI: 10.34023/2313-6383-2020-27-1-106-120 (in Russian).
6. Arkhangel'skiy V.N., Fadeeva T.A. Reserves for Increasing the Fertility in Russia: to the Method of Assessment. *Uroven' zhizni naseleniya regionov Rossii*, 2022, vol. 18, no. 2, pp. 162–176. DOI: 10.19181/isprr.2022.18.2.2 (in Russian).
7. Ulumbekova G.E., Ginoyan A.B., Khudova I.Yu. Scientific substantiation of the conditions for increasing the birth rate in the Russian Federation in the period from 2022 to 2030. *ORGZDRAV: novosti, mneniya, obuchenie. Vestnik VShOUZ*, 2022, vol. 8, no. 1 (27), pp. 4–22. DOI: 10.33029/2411-8621-2022-8-1-4-22 (in Russian).
8. Kuloğlu Ş., Kizilirmak A., Kuloğlu A. The impact of social and economic factors on fertility features: a cross-country analysis. *Kafkas Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2022, vol. 13, no. 26, pp. 993–1012. DOI: 10.36543/kauibfd.2022.041
9. Zhang T.-T., Cai X.-Y., Shi X.-H., Zhu W., Shan S.-N. The Effect of Family Fertility Support Policies on Fertility, Their Contribution, and Policy Pathways to Fertility Improvement in OECD Countries. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2023, vol. 20, no. 6, pp. 4790. DOI: 10.3390/ijerph20064790
10. Elizarov V.V., Dzhanyayeva N.G. Maternity (family) capital as a support program for families with children: implementation results and development prospects (Part One). *Uroven' zhizni naseleniya regionov Rossii*, 2020, vol. 16, no. 3, pp. 38–48. DOI: 10.19181/isprr.2020.16.3.3 (in Russian).
11. Noncommunicable diseases progress monitor 2020. Geneva, World Health Organization, 2020, 224 p.
12. The Lancet. Russia's alcohol policy: a continuing success story. *Lancet*, 2019, vol. 394, no. 10205, pp. 1205. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)32265-2
13. Huffstetler A.N., Kuzel A.J., Sabo R.T., Richards A., Brooks E.M., Kashiri P.L., Villalobos G., Ariaset A.J. [et al.]. Practice facilitation to promote evidence-based screening and management of unhealthy alcohol use in primary care: a practice-level randomized controlled trial. *BMC Fam. Pract.*, 2020, vol. 21, no. 1, pp. 93. DOI: 10.1186/s12875-020-01147-4
14. Bafunno D., Catino A., Lamorgese V., Del Bene G., Longo V., Montrone M., Pesola F., Pizzutillo P. [et al.]. Impact of tobacco control interventions on smoking initiation, cessation, and prevalence: a systematic review. *J. Thorac. Dis.*, 2020, vol. 12, no. 7, pp. 3844–3856. DOI: 10.21037/jtd.2020.02.23
15. Acton R.B., Jones A.C., Kirkpatrick S.I., Roberto C.A., Hammond D. Taxes and front-of-package labels improve the healthiness of beverage and snack purchases: a randomized experimental marketplace. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.*, 2019, vol. 16, no. 1, pp. 46. DOI: 10.1186/s12966-019-0799-0
16. Gómez S.F., Rajmil L. Advertising, obesity and child health: the case of Spain. *BMJ Paediatr. Open*, 2022, vol. 6, no. 1, pp. e001482. DOI: 10.1136/bmjpo-2022-001482
17. Gorstein J.L., Bagriansky J., Pearce E.N., Kupka R., Zimmermann M.B. Estimating the Health and Economic Benefits of Universal Salt Iodization Programs to Correct Iodine Deficiency Disorders. *Thyroid*, 2020, vol. 30, no. 12, pp. 1802–1809. DOI: 10.1089/thy.2019.0719
18. Global report on the use of sugar-sweetened beverage taxes, 2023. Geneva, World Health Organization, 2023, 59 p.
19. Zhou J. Chinese active lifestyle development: limitations and countermeasures. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 2022, vol. 28, no. 5, pp. 390–393. DOI: 10.1590/1517-869220228052021\_0531
20. Makarova N.V. The role of tax policy in encouraging a healthy lifestyle of the population. *Nalogi i nalogooblozhenie*, 2021, no. 3, pp. 73–85. DOI: 10.7256/2454-065x.2021.3.35421 (in Russian).
21. Global report on hypertension: the race against a silent killer. Geneva, World Health Organization, 2023, 291 p.
22. Global status report on road safety 2023. Geneva, World Health Organization, 2023.
23. Live life: an implementation guide for suicide prevention in countries. Geneva, World Health Organization, 2021, 142 p.

Kobyakova O.S., Shibalkov I.P., Solomatnikov I.A., Timonin S.A., Shchur A.E., Lagutin M.D., Tyufilin D.S., Deev I.A., Nikitina S.Yu. The medical and demographic situation in Russia: long-term trends, prospects and improvement potential. *Health Risk Analysis*, 2024, no. 2, pp. 4–17. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.01.eng

Получена: 13.05.2024

Одобрена: 10.06.2024

Принята к публикации: 20.06.2024



Научная статья

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИТЕРАЦИОННОГО ПРОГНОЗА РИСКА И ВРЕДА ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ: ОТ БЕЛКОВЫХ МИШЕНЕЙ ДО СИСТЕМНЫХ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

Н.В. Зайцева<sup>1,2</sup>, М.А. Землянова<sup>1</sup>, Ю.В. Кольдибекова<sup>1</sup>, Е.В. Пескова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Российская Федерация, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

<sup>2</sup>Отделение медицинских наук Российской академии наук, Российская Федерация, 109240, г. Москва, ул. Солянка, 14

*Повышение предиктивного потенциала ранней диагностики и коррекции негативных последствий воздействия факторов среды обитания приобретает особую актуальность для предупреждения и снижения персонализированных и популяционных рисков потерь здоровья населения. Осуществлена разработка научно-методических основ итерационного численного прогноза риска и вреда здоровью человека при воздействии химических факторов среды обитания. Дизайн исследования основан на алгоритме системного анализа развития негативных эффектов при воздействии химического фактора среды обитания. Углубленно обследовано более 1 млн человек, подвергнутых длительной аэрогенной комбинированной экспозиции в концентрациях до 5–10 RfC. Оценено порядка 350 цифровых многофакторных моделей (5500 параметров).*

*Построены структурные биоинформационные матрицы для распознавания на молекулярно-клеточном уровне последовательности ответных событий, инициированных трансформацией белково-пептидного профиля плазмы крови человека, определяющие метаболизм. Уточнены элементы вовлечения 20 белков-мишеней в патогенез нарушений, связанных с гипертензией, дислипидемией, ожирением, когнитивной дисфункцией, ассоциированных с химической комбинированной экспозицией. Обоснованы критерии безопасного содержания 10 контаминантов с учетом их комбинаций в биологических средах. Подтверждены прогнозные оценки патогенетических путей фактами их реализации на клеточно-тканевом, органном и организменном уровнях в виде метаболических нарушений и состоявшихся заболеваний со стороны сердечно-сосудистой, нервной систем, обмена липопротеидов и др., доказанно связанных с аэрогенным воздействием загрязняющих веществ.*

*Расширены существующие методические подходы к оценке комбинированного действия веществ с учетом параметризованных причинно-следственных связей биомаркеров экспозиции и эффектов, количественной оценки дополнительных случаев реализации риска. Оценка разработанных цифровых моделей показала, что комбинированное действие химических веществ проявляется преимущественно синергизмом и эмерджентностью (до 70 % случаев). Разработаны концептуальные основы и архитектура итерационного прогноза риска и развития рисков ассоциированных заболеваний, в том числе в виде причинения реального вреда здоровью, при усилении экспрессии белковых мишеней. Таким образом, оцифрованная версия прогноза (цифровая платформа) как многоуровневая каскадная модель является инструментарием научного анализа гигиенической ситуации с параметризацией ожидаемых негативных исходов, определяет способы их коррекции и профилактики, что повышает надежность гигиенических оценок и обоснованность управленческих решений.*

**Ключевые слова:** риск здоровью, причиненный вред, факторы среды обитания, белки-мишени, негативный эффект, каскадная модель, причинно-следственные связи, прогноз, цифровая платформа.

© Зайцева Н.В., Землянова М.А., Кольдибекова Ю.В., Пескова Е.В., 2024

**Зайцева Нина Владимировна** – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель (e-mail: znv@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-34; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

**Землянова Марина Александровна** – доктор медицинских наук, главный научный сотрудник, заведующий отделом биохимических и цитогенетических методов диагностики (e-mail: zem@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 236-39-30; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8013-9613>).

**Кольдибекова Юлия Вячеславовна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией метаболизма и фармакокинетики отдела биохимических и цитогенетических методов диагностики (e-mail: koldibekova@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-15; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3924-4526>).

**Пескова Екатерина Владимировна** – младший научный сотрудник лаборатории биохимической и наносенсорной диагностики отдела биохимических и цитогенетических методов диагностики (e-mail: peskova@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-15; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8050-3059>).

Важнейшим приоритетом государственной политики развития РФ является сохранение населения, укрепление здоровья и повышение благополучия людей (Указ Президента РФ от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации до 2036 года»)<sup>1</sup>.

Сохраняющиеся большие вызовы, обозначенные Стратегией научно-технологического развития РФ<sup>2</sup>, создают существенные риски для общества, экономики и системы государственного регулирования. Наиболее значимыми из них являются: демографический переход, обусловленный снижением рождаемости, увеличением продолжительности жизни, и связанное с этим старение населения; возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду до масштабов, угрожающих воспроизводству природных ресурсов, и связанный с этим рост рисков для жизни и здоровья граждан. В условиях больших вызовов требуется научное обоснование мер, которые необходимо принять для противодействия возможным угрозам и реагирования на новые вызовы. Решению этой проблемы посвящено достаточно большое количество исследований, и на принципах преемственности создано эффективное информационно-методическое обеспечение, включающее более 50 разработок. Они развивают научные подходы к аналитическим оценкам индивидуального, группового, популяционного уровня, основанные ведущими российскими учеными в области профилактической медицины [1–5].

В целях предупреждения и снижения персонализированных и популяционных рисков потерь здоровья населения «Прогнозом научно-технологического развития России до 2030 года»<sup>3</sup> в средне- и долгосрочной перспективе определена необходимость всестороннего развития наукоемких исследований патогенетических аспектов развития негативных эффектов, обусловленных в том числе воздействием факторов среды обитания. В контексте изучения развития патологического процесса для разработки адекватных мер профилактики особый интерес представляет исследование молекулярно-генетической компоненты внутриклеточных сигнальных путей, нарушения структуры и функции отдельных клеток и тканей с выявлением потенциальных

молекулярных и клеточных мишеней повреждающего действия факторов риска среды обитания, в том числе при комбинированном поступлении [6–15]. Широкий спектр химических факторов высоких уровней опасности, формирующих экспозицию, обладает политропностью негативного воздействия<sup>4</sup>. Последнее обуславливает высокие риски множественности ответов со стороны здоровья населения. Для митигации рисков необходимо эффективное регулирование качества объектов среды обитания, в том числе в рамках государственного контроля, включающего социально-гигиенический мониторинг (СГМ) и контрольно-надзорную деятельность (КНД) [16, 17]. Вместе с тем в условиях моратория контрольно-надзорной деятельности перечень контролируемых веществ может быть минимизирован без качественных и информационных потерь.

В связи с этим молекулярное профилирование и исследование клеточно-молекулярных, метаболических, органно-системных механизмов модифицирующего действия химических факторов среды обитания и разработка на этой основе научно-методического инструментария численного прогноза ответа организма человека на воздействие является одной из актуальных проблем гигиены. Оптимизация перечня веществ, подлежащего первоочередному контролю, имеет существенное значение для практики регулирования.

**Цель исследования** – разработка научно-методических основ итерационного численного прогноза риска и вреда здоровью человека при воздействии химических факторов среды обитания.

**Материалы и методы.** Для достижения поставленной цели дизайн исследования базировался на последовательной реализации алгоритма системного анализа развития негативных эффектов при воздействии химического фактора среды обитания – от молекулярного до организменного уровня. Углубленным обследованием охвачено более 1 млн человек (порядка 800 тыс. детей в возрасте 4–7 лет и 500 тыс. взрослых 22–48 лет), подвергающихся реальной длительной аэрогенной комбинированной экспозиции на уровне до 5–10 референтных концентраций для условий хронического воздействия ( $RfC$ )<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года: Указ Президента РФ от 07.05.2024 № 309 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ.РУ: информационно-правовой портал. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408892634/> (дата обращения: 30.04.2024).

<sup>2</sup> О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента РФ от 28.02.2024 № 145 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ.РУ: информационно-правовой портал. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408518353/> (дата обращения: 30.04.2024).

<sup>3</sup> Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года / утв. Правительством РФ 03.01.2014 г. [Электронный ресурс] // ГАРАНТ.РУ: информационно-правовой портал. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70484380/> (дата обращения: 29.04.2024).

<sup>4</sup> Общая токсикология / под ред. Б.А. Курляндского, В.А. Филовой. – М.: Медицина, 2002. – 608 с.

<sup>5</sup> Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. – М.: Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации, 2023. – 221 с.

Исследования на молекулярном уровне выполнены технологией протеомного профилирования плазмы крови экспонированных детей (порядка 300 протеомных профилей, 180 квантифицированных и идентифицированных экспрессированных белков). Исследование и количественная оценка контаминации биосред (крови, мочи) выполнена химико-аналитическими методами, закрепленными в реестре Росаккредитации (18 веществ, в том числе алюминий, медь, марганец, никель, хром, ванадий, кобальт, молибден, мышьяк, ртуть, фтор-ион, бенз(а)пирен, фенол, бензол, толуол, ксилол, этилбензол, акролеин)<sup>6</sup>. Результаты протеомного профилирования, полученные в натуральных условиях, верифицированы в эксперименте на животных, подвергающихся экспозиции, эквивалентной реальной. Экспериментальные исследования выполнены на 300 крысах линии Wistar при моделировании ингаляционной изолированной и комбинированной экспозиции. Для прогноза негативных событий, инициированных трансформацией белково-пептидного профиля плазмы крови, с помощью ресурсов UniProt, Tissue expression DB, DisGeNET построено 25 биоинформационных матриц.

На клеточном уровне исследования выполнены методами растровой электронной микроскопии, трехмерной реконструкции клеток, технологией анализа изображений. Изучение морфологических изменений тканей выполнено гистологическими методами. Особенности клеточной реакции определены при воздействии семи металлов в нано- и микродиапазоне частиц сравнительно (Al, Mn, Ni, Cr, Cu, Ca, Mg, Co, Mo).

Изменения на органно-системном уровне изучали методами биохимических, иммунологических, гематологических исследований (порядка 100 показателей). Реализацию ответа на организменном уровне оценивали на основе установленных фактических заболеваний у экспонированных детей и взрослых при углубленном обследовании (порядка 1500 диагнозов в соответствии с МКБ-10). Оценка потерь ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ), инициированных усиленной экспрессией белков-мишеней, выполнена на основе эволюционного моделирования нарастания риска здоровью.

Моделирование причинно-следственных связей при реализации каскадной модели «экспозиция – биомаркер экспозиции – экспрессированный белок – биомаркер негативного эффекта – ответ (фактиче-

ское риск-ассоциированное заболевание)» с учетом комбинированного действия факторов экспозиции выполнено методами регрессионного анализа с построением множественных логистических моделей. Общий вид модели, описывающей зависимость:

$$y = 1 / (1 + \exp(-(b_0 + \sum b_i \cdot x_i + \sum \sum b_{ij} \cdot x_{ij})))$$

Оценка достоверности и адекватности результатов моделирования осуществлена по *F*-критерию Фишера, коэффициенту детерминации ( $R^2$ ) и *t*-критерию Стьюдента ( $p \leq 0,05$ ). Построено более 450 параметризованных моделей зависимости (порядка 5000 коэффициентов)<sup>7</sup>. Обоснование перечня веществ, подлежащих первоочередному регулированию, выполнено на основе решения обратной задачи с применением методов минимаксного оценивания и факторного анализа при фиксированных профилях факторов воздействия на исследуемых территориях<sup>8</sup>. Тесноту связи между веществами оценивали по  $R^2$ .

Конкретные примеры результатов реализации алгоритма системного анализа представлены преимущественно на модели натурной аэрогенной длительной экспозиции, формируемой компонентами выбросов в атмосферный воздух от источников промышленного производства – оксидом алюминия ( $Al_2O_3$ ) и фторидом водорода (HF) на уровне 0,0006–0,003 мг/кг · сут. (0,1–2,2 *RfC*); бенз(а)пиреном (B[a]P) – 0,000003 мг/кг · сут. (2,1 *RfC*). Выбор веществ обусловлен их высокой степенью опасности для здоровья человека (1–2-й класс) и одновременным присутствием в составе компонентов выбросов в атмосферный воздух от источников 13 крупных производств первичного алюминия и глинозема, размещенных в регионах РФ. Анализ пространственного распределения полученных результатов выполнен с применением ГИС-технологий<sup>9</sup>.

**Результаты и их обсуждение.** При реализации алгоритма исследований риск-ассоциированных ответов организма на различных уровнях их инициации у экспонированных лиц разных возрастных групп относительно неэкспонированных на молекулярном уровне выявлена трансформация белково-пептидного профиля плазмы крови. Определены белковые мишени воздействия распространенных маркеров экспозиции (Mn, Al, Cu, Ni, Cr, фтор, бенз(а)пирен). Установлены специфичные ткани, в которых экспрессируют идентифицированные белки. К ним относятся ткани печени, головного мозга, сердца, тонкого кишечника, легких. Напри-

<sup>6</sup> Количественная оценка содержания химических веществ в биосредах выполнена в отделе химико-аналитических методов исследования (зав. отделом д-р биол. наук Т.В. Нурисламова).

<sup>7</sup> Моделирование причинно-следственных связей выполнено в отделе математического моделирования систем и процессов (зав. отделом к.т.н. Д.А. Кирьянов).

<sup>8</sup> Там же.

<sup>9</sup> Визуализация пространственного распределения результатов выполнена в отделе системных методов социально-гигиенического мониторинга (зав. отделом д-р мед. наук, профессор РАН С.В. Клейн).

мер, у детей в возрасте 4–7 лет усиление экспрессии шести белков из 23 идентифицированных доказанно связано с воздействием повышенной контаминации биосред (в 1,5–1,8 раза от референтной или фоновой концентрации в крови / моче) в результате комбинированной экспозиции  $Al_2O_3$ , HF, B[a]P. При этом только два белка верифицированы в эксперименте на крысах при изолированной и комбинированной экспозиции и определены как мишени воздействия. Это аполипопротеин A1 (ген, кодирующий белок, – *APOA1*), являющийся стимулятором обратного транспорта холестерина из сосудов, антиоксидант, и белок транстиретин (ген *TTR*) – транспортер тироксина, фактор репарации поврежденных молекул [18–20]. Экспрессия данных белков наблюдается преимущественно в гепатоцитах, энтероцитах и нейронах.

На основе результатов протеомного профилирования впервые обоснованы критерии безопасного содержания 10 контаминантов в биологических средах человека (в крови, моче). Для условий комбинированных экспозиций эти уровни существенно ниже, чем референтные значения. Например, максимальная недействующая концентрация по критерию изменения интенсивности экспрессии аполипопротеина A1 для алюминия в моче составляет  $0,001 \text{ мг/дм}^3$  (RFL –  $0,0065 \text{ мг/дм}^3$ )<sup>10</sup>, фтор-иона в моче –  $0,06 \text{ мг/дм}^3$  (RFL –  $0,2 \text{ мг/дм}^3$ )<sup>11</sup>, бенз(а)пирена –  $0,0 \text{ мг/дм}^3$ .

Прогнозные структурные-биоинформационные матрицы, построенные для распознавания изменений молекулярно-клеточных событий и их последовательности, связанных с усиленной экспрессией 25 идентифицированных белков, иерархически отобрали первичные сигнально-транспортные связи и пути, протекающие на 5–12-м уровнях, установочные ячейки их локализации (40–100), реакции клеточной популяции (10–15 видов), определяющие в последующем метаболом. Это позволило уточнить элементы вовлечения экспрессированных белков в патогенез метаболических нарушений, негативным исходом которых могут являться гипертензия, ожирение, гепатоз, когнитивная дисфункция, полиневропатия, бронхиальная астма и др. В конкретном примере при активации экспрессии аполипопротеина A1 и транстиретина молекулярные взаимодействия протекают на 7–10-м уровнях внутриклеточных сигнальных путей. Процесс обмена липопротеинов, пролиферативная реакция эпителия и эндотелия затрагиваются, начиная с 3-го уровня. За счет лиганд-рецепторного взаимодействия осуществляется патогенетически специфическое расщепление аполипопротеина A1. Процесс обусловлен активацией окисления и протеолитическими свойствами транстиретина. Как результат, активность обратного пе-

реноса стеролов, в том числе холестерина, снижается. Провоспалительные и антиоксидантные свойства аполипопротеина A1 заменяются на воспалительные и окислительные. Прогнозируются метаболические нарушения, биохимические механизмы которых реализуются в виде дисбаланса липопротеинов, нейротрансмиттеров, снижения активности нейрогенеза [21, 22].

Детализация основных путей сигнальной трансдукции молекулярных событий позволила установить возможные направления патогенеза негативных событий. Показано, что изменение передачи сигнала дисрегулирует клеточную коммуникацию разнообразными способами. Пусковым является стимуляция экспрессии белка, вызывающая изменение восприятия сигнала. Возникает цепная реакция комбинаторных сигнальных событий и, как следствие, дискоординация клеточного гомеостаза. Конкретный пример основных путей сигнальной трансдукции молекулярных событий при повышенной экспрессии аполипопротеина A1, обусловленной одновременным воздействием  $Al_2O_3$ , HF, B[a]P, представлен на рис. 1. В результате окислительной активности аполипопротеина A1 нарушается восприятие сигнала к синтезу липопротеинов высокой плотности. Замедляется лизосомальный эндоцитоз липопротеидов низкой плотности. Усиливается секреция липопротеина A. Повышается синтез билирубина как антиоксиданта в ответ на повышение окислительной активности [23, 24]. Последнее связано с прямым окислительным действием токсикантов и активным расщеплением аполипопротеина A1.

Следствием является усиление синтеза холестерина, что может повышать риск развития раннего атеросклероза, заболеваний периферических сосудов, ишемической болезни сердца и др., являющихся одной из ведущих причин снижения качества активного долголетия.

Предложенный подход повышает точность прогноза и обеспечивает раннюю диагностику метаболических нарушений, обусловленных трансформацией протеомного профиля в условиях химической экспозиции, в том числе комбинированной. Определяет способы коррекции и профилактики.

На клеточно-тканевом уровне в эксперименте на животных подтвержден прогноз патогенетических путей. Фактически доказано усиление экспрессии идентифицированных белков в прогнозируемых клетках. Установлено, что общим механизмом является развитие воспалительного процесса в клеточной популяции с особенностями по типу неиммунного и иммуноопосредованного повреждения. Дополнительно выявлена зависимость типа воспалительной реакции (нейтрофильный или эозинофильный) от размера и удельной площади

<sup>10</sup> Тиц Н. Клиническое руководство по лабораторным тестам / пер. с англ. под ред. В.В. Меньшикова. – М.: ЮНИМЕД-пресс, 2003. – 960 с.

<sup>11</sup> Там же.



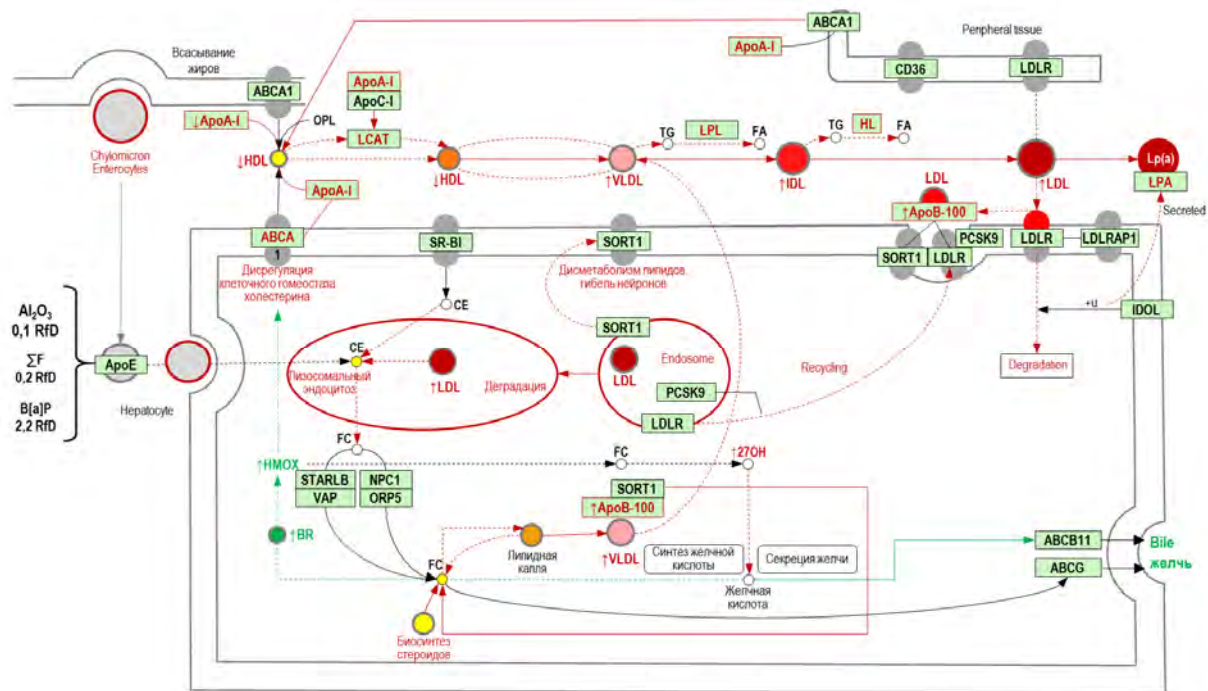


Рис. 1. Схема основных путей сигнальной трансдукции молекулярных событий при повышенной экспрессии аполипопротеина A1, обусловленной воздействием  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , HF, В[а]Р (красным цветом выделена дисрегуляция клеточной коммуникации)

поверхности воздействующих частиц. Установлено, что чем меньше размер и больше удельная площадь частиц, тем менее благоприятен прогноз. Так, при интратрахеальном воздействии наноразмерных частиц  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (13–20 нм) в дозе 0,01 мг/кг · сут, эквивалентной реальной (0,1 *RfC* с учетом экстраполяции), установлена преимущественно эозинофильная реакция клеточной популяции в бронхоальвеолярном лаваже (БАЛЖ). Количество эозинофилов в 21–62 раза ( $p = 0,0001$ ) превышает показатель контроля и группы сравнения, подвергающейся экспозиции микроразмерным аналогом (20–30 мкм). При интратрахеальном воздействии последнего отмечена преимущественно нейтрофильная реакция. Количество лейкоцитов в БАЛЖ в 2–16 раза ( $p = 0,0001$ ) выше контрольных данных и показателя в группе сравнения.

Цифровая трехмерная реконструкция поверхности фиксированных клеток бронхоальвеолярной жидкости представлена на рис. 2.

Электронной микроскопией определено нарушение структуры и формы поверхности альвеолярного макрофага в виде «пенистости», нарастающей с уменьшением размера частиц действующего вещества. Выявленные изменения свидетельствуют о повреждении клеточной мембраны. Доля альвеолярных макрофагов с нарушенной структурой поверхности и формой при экспозиции наноразмерными частицами  $\text{Al}_2\text{O}_3$  составила 18 %, что в 2,5 раза больше, чем при воздействии микрочастиц ( $p = 0,02$ ). Технологией анализа изображений подтверждено и расширено представление о зависимости степени повреждения клетки от морфометрического состава воздействующих веществ.

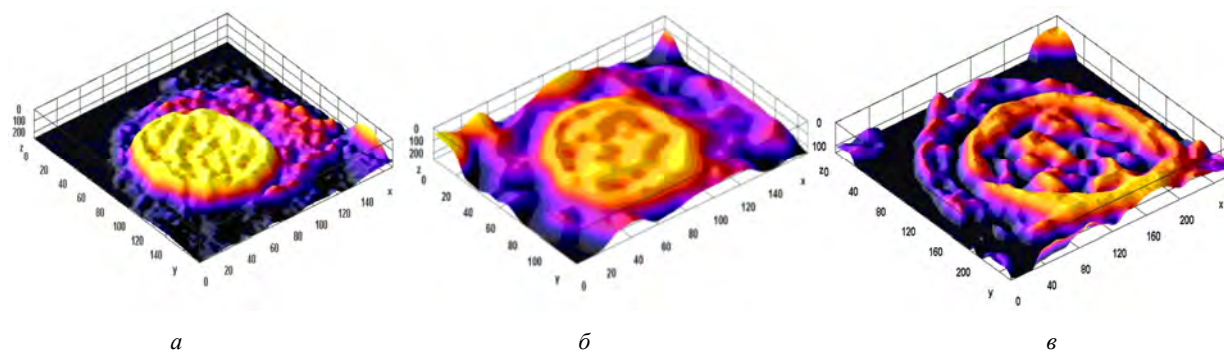


Рис. 2. Трехмерная реконструкция морфологических параметров альвеолярных макрофагов БАЛЖ крыс линии Wistar при интратрахеальном воздействии  $Al_2O_3$  в дозе  $0,01 \text{ мг/кг} \cdot \text{сут.}$  эквивалентной реальной ( $0,1 \text{ RfC}$ ): а – контроль; б – группа в условиях экспозиции микроразмерными частицами; в – группа в условиях экспозиции наноразмерными частицами

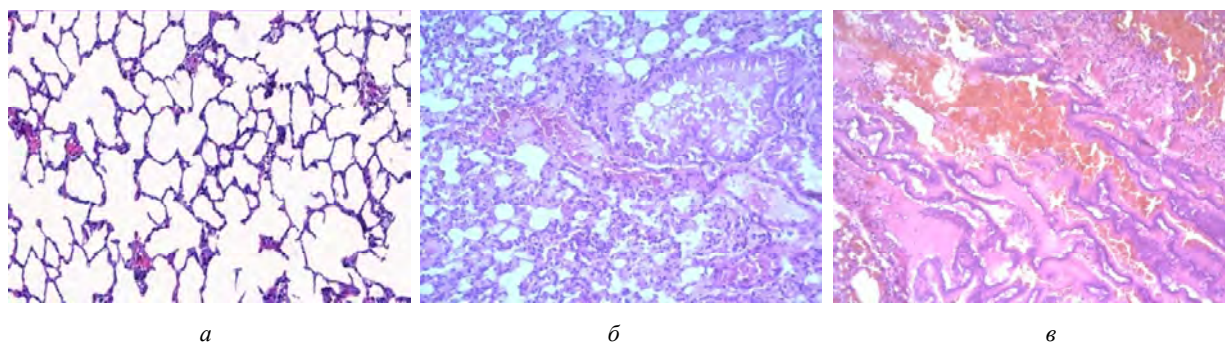


Рис. 3. Морфологические изменения ткани легкого крыс линии Wistar при ингаляционной экспозиции оксидом алюминия,  $\times 1000$ : а – контроль, б – экспозиция микроразмерными частицами; в – экспозиция наноразмерными частицами

Глубина повреждения ткани подтверждена гистологически (рис. 3).

Показано, что при экспозиции наноразмерными частицами изучаемого вещества морфологические изменения ткани легкого, по сравнению с контрольными данными, проявляются выраженной гиперплазией лимфоидной ткани, наличием эозинофильных инфильтратов и геморрагических очагов. При экспозиции микроразмерными частицами выраженность гиперплазии и инфильтратов умеренная, геморрагические очаги отсутствуют, т.е. установлена меньшая степень повреждения, что отличает от воздействия наночастиц.

Характеризуя органный уровень реализации ответа необходимо отметить, что в реальных условиях у экспонированных лиц подтверждены факты метаболических нарушений, характеризующихся изменением органоспецифических показателей, патогенетически связанных с факторами экспозиции, обуславливающих повышенную контаминацию биосред (от 1,5 до 3,5  $R/L$ ). Об этом свидетельствует снижение содержания аполилопротеина А1, липопротеидов высокой плотности, повышено соотношение аполилопротеинов В100 и А1, билирубина до 1,5 раз относительно показателей сравнения ( $p = 0,0001-0,001$ ). Снижение активности нейрогенеза и дисбаланс нейромедиаторов реализуются за счет гипосинтеза нейротропина-3, повышения глутаминовой кислоты, нейронспецифической энтолазы и серотонина в 1,3–2,0 раза относительно контрольных данных ( $p = 0,001-0,03$ ). Дисбаланс тиреотропных гормонов (ТТГ и  $T_4$  свободного) и достоверное увеличение активности специфических ферментов, например, глутаматдегидрогеназы (в 1,3 раза,  $p = 0,002$ ), ассоциированные с повышенной контаминацией биосред, подтверждают цитотоксическое действие на гепатоциты и тиреоциты. В континууме прогнозируется отложение амилоидных бляшек в нейрональных клетках и холестериновых бляшек – в эндотелии сосудов. С этим могут быть связаны атеросклеротические и нейродегенеративные изменения, жировое перерождение гепатоцитов.

Показано, что степень выраженности экспрессии белков и метаболически связанных с этим изменений биохимических показателей негативных эф-

фектов зависят от особенностей действия комбинации веществ. Разработано 25 цифровых моделей зависимости биомаркеров негативных эффектов от биомаркеров экспозиции (150 коэффициентов) для оценки комбинированного действия веществ, в том числе оксидов алюминия, меди, никеля, хрома, фторида водорода, бенз(а)пирена. Получено 60 показателей дополнительных случаев реализации риска, превышающих приемлемый уровень от 2 до 45 раз, развития негативных эффектов со стороны иммунной, костно-мышечной, нервной систем, органов дыхания, пищеварения. Подтверждение необходимости учета комбинированного действия в практике регулирования показано на конкретном примере интенсивности экспрессии фактора элонгации гамма (ген *EF1G*) при изолированной и комбинированной экспозиции. При хронической экспозиции одновременно бенз(а)пиреном, алюминия оксидом и фторидом водорода установлено, что комбинированное действие проявляется не просто суммацией эффектов, а преимущественно синергизмом, превышающим эффект аддитивности в 1,5 раза (рис. 4). Формируется дополнительно к изолированному действию риск развития негативных эффектов со стороны иммунной системы, органов дыхания. Величина дополнительного риска превышает приемлемый уровень до 30 раз.

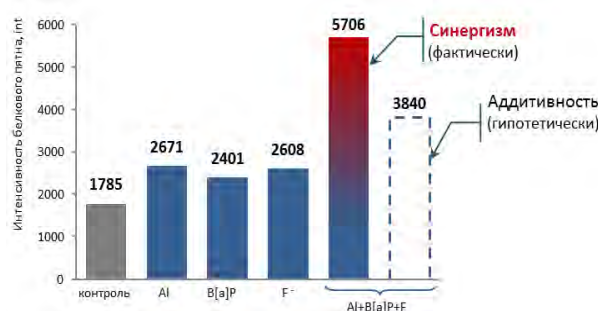


Рис. 4. Интенсивность экспрессии фактора элонгации гамма (ген *EF1G*) в плазме крови крыс линии Wistar при изолированной и комбинированной экспозиции

С учетом особенностей комбинированного действия на органно-системном уровне определены профили предикторных показателей для ранней ди-

агностики реализации формализованного риска в виде причинения вреда здоровью в условиях конкретной экспозиции. Профиль включает белки-мишени и патогенетически связанные с ними биомаркеры негативных эффектов, изменение которых повышает вероятность возникновения конкретного заболевания (рис. 5).

Например, для детей в возрасте 4–7 лет, экспонированных компонентами выбросов крупного алюминиевого производства, определены диагностические профили, позволяющие прогнозировать развитие заболеваний со стороны нервной системы и обмена веществ. Для раннего выявления и предупреждения избыточности питания (МКБ-10: E67.8), ассоциированной с воздействием экспозиции, профиль предикторных показателей включает белок апополипротеин A1 и связанный с ним комплекс биомаркеров дисбаланса липопротеинов (повышенный относительно физиологической нормы уровень общего холестерина и холестерина ЛПВП, сниженный уровень холестерина ЛПНП) и окислительно-антиоксидантной активности (повышенный уровень малонового диальдегида и сниженный уровень антиоксидантной активности). Параметры многофакторной модели, описывающей зависимость развития заболевания от изменения биомаркеров эффектов:  $b_0 = -2,27$ ,  $b_1 = -0,303$ – $0,053$  ( $R^2 = 0,41$ – $0,50$ ,  $p = 0,0001$ – $0,002$ ). Расстройство вегетативной нервной системы (МКБ-10: G90.8) ассоциировано с экспрессией транстиретина и со связанным с ним повышенным уровнем нейромедиаторов (дофамина, глутамата), дисбалансом окислительно-восстановительного статуса клеток (повышенный уровень малонового диальдегида, общей антиоксидантной активности, глутатионпероксидазы). Параметры модели зависимости:  $b_0 = -1,93$ ,  $b_1 = -0,16$ ,  $b_2 = -0,16$ – $0,07$  ( $R^2 = 0,52$ ,  $p = 0,0001$ ). Это позволило сформировать группы риска для последующих медико-профилактических мероприятий.

Прогнозные оценки в результате реализации каскадной модели полностью подтверждены выявлением на организменном уровне фактически состоявшихся заболеваний, доказанно связанных с аэрогенным воздействием химических факторов. Особенности структуры дополнительной заболеваемости определяются территориальной спецификой загрязнений. Например, в зоне экспозиции  $Al_2O_3$ , HF, B[a]P структура дополнительных случаев фактических заболеваний у детей в возрасте 4–7 лет, установленных по результатам углубленных исследований, представлена в основном заболеваниями верхних дыхательных путей в виде аллергического и хронического ринита, аденоидита, синусита (J30.4, J32, J35.9) (23,0 % от общего количества заболеваний), расстройствами вегетативной и центральной нервной системы (G90.8), в том числе в виде нарушения активности и внимания (F90.0) (21,9 %), билиарной дисфункции (K82.8) (18,6 %), гиперлипидемии и избыточности питания (E67.8, E78.5) (13,3 %). У взрослых фертильного возраста (22–48 лет) наиболее значимыми в структуре дополнительных случаев заболеваний являются ожирение (24,8 %), заболевания верхних и нижних дыхательных путей (J32, J37, J42) в виде хронического ринита, синусита, ларингита, бронхита (23,0 % от общего количества заболеваний). Приоритеты, выделенные на индивидуальном уровне, формируют в целом профиль популяционных потерь здоровья.

Совокупность полученных результатов позволила разработать концептуальные основы и архитектуру итерационного прогноза риска и вреда здоровью: от белковых мишеней до риск-реализованных заболеваний. Упрощенная схема представлена на рис. 6.

Показано, что протеомная сигнатура, дисрегуляция внутриклеточных сигнальных путей, прямая и опосредованная цитотоксичность, окислительная активность токсикантов определяют ключевые

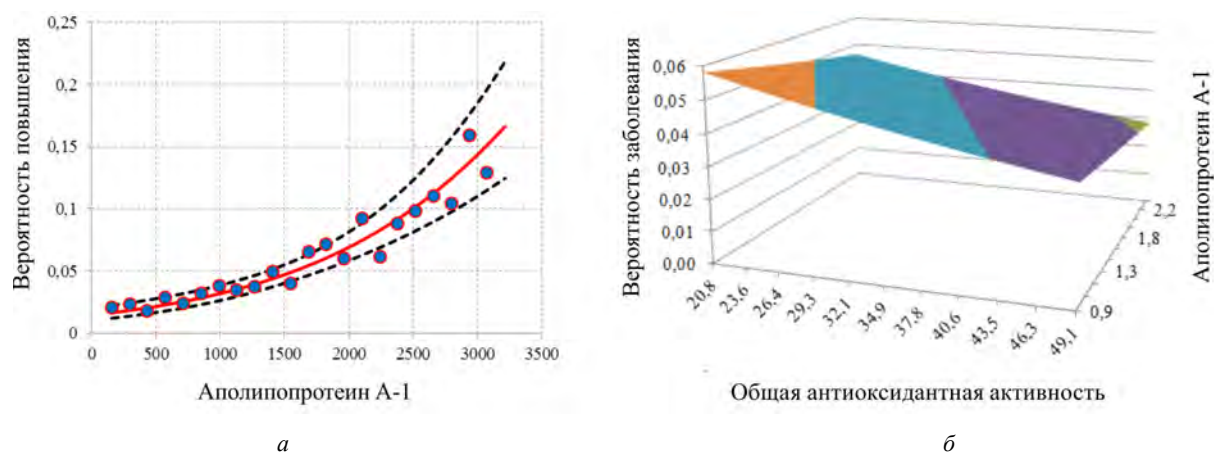


Рис. 5. Вероятность развития избыточного питания у детей при комбинированной аэрогенной экспозиции  $Al_2O_3$ , HF, B[a]P: а – вероятность повышения малонового диальдегида при экспрессии апополипротеина A1; б – вероятность развития избыточного питания при повышении апополипротеина A1 и снижении общей антиоксидантной активности





Рис. 6. Концептуальные основы и архитектура итерационного прогноза риска и вреда здоровью: от белковых мишеней до риск-реализованных заболеваний

звенья патогенетических механизмов модифицирующего действия. Оцифрованная версия по существу является многоуровневой каскадной моделью и алгоритмом научного анализа гигиенической ситуации с параметризацией ожидаемых негативных исходов.

Практическое использование предложенных концептуальных подходов позволяет также перейти к оценке потерь ожидаемой продолжительности жизни на основе эволюционного моделирования нарастания риска. Показано, что при повышении экспрессии только двух белков и связанных с этим метаболических нарушений прогнозируется сокращение ожидаемой продолжительности жизни почти на два месяца. При этом интегральные потери здоровья являются этиопатогенетически значимыми и представлены в виде гипертонической болезни, ожирения, полиневропатии, жирового гепатоза.

На основе исследованных механизмов и установленных фактов формирования персонализированных рисков здоровью разработано 54 медицинских технологии профилактики клеточно-молекулярных и органно-системных риск-ассоциированных негативных эффектов, востребованность которых составляет более 45 % от численности населения в зоне экспозиции. Медико-профилактические технологии разработаны в отношении конкретных риск-реализованных заболеваний по восьми классам болезней, в том числе органов дыхания, сердечно-сосудистой, нервной, эндокринной систем и др. Персонализированные меры дополняют существующие стандарты оказания медицинской помощи на период до достижения приемле-

мых рисков развития заболеваний и не осуществляются в системе практического здравоохранения. Содержание мероприятий предусматривает этиотропный и патогенетический блок. Этиотропный блок направлен на снижение химической контаминации в организме, и его наполнение зависит от уровня содержания веществ в биосредах. Патогенетический блок является целевым и предусматривает комплекс корректирующих и профилактических мер, дифференцированных по направлениям профилактики с учетом степени выраженности патологического процесса и акцентом на коррекцию возможных клеточно-молекулярных изменений.

Опыт реализации специализированной адресной медико-профилактической помощи экспонированному населению в регионах РФ (охвачено порядка 800 тыс. детей и взрослых) свидетельствует о ее эффективности (рис. 7). Подтверждена эффективность профилактических мер в виде снижения содержания от 1,5 до 30 раз токсичных компонентов (бенз(а)пирен, алюминий, фтор-ион, бензол, ксилол, фенол и др.) в биосредах через один год после лечения. Частота обострений и длительности заболеваний, например, вегетососудистой дистонии, билиарной дисфункции, у детей снизились от 2,3 до 3,2 раза.

Частота ОРВИ как сопутствующего заболевания снизилась до 2,7 раза. Экономическая эффективность составила порядка 6,5 руб. на 1 руб. затрат на одного пролеченного человека при амбулаторной форме реализации мероприятий, 1,8 руб. на 1 руб. – при стационарной форме.



Рис. 7. Регионы РФ, в которых детское и взрослое население из зон экспозиции охвачено специализированной адресной медико-профилактической помощью

На основе накопленных результатов исследований создан и систематически пополняется электронный регистр оцифрованных сопряженных данных по каждому обследованному индивиду, подвергающемуся реальной химической экспозиции (рис. 8). Логическая структура регистра содержит данные качества среды обитания, параметры индивида, контаминации биосред, протеомного профиля, лабораторно-функциональных показателей, диагноз заболевания, адресные медико-профилактические мероприятия, их эффективность. К настоящему времени введено порядка 3 млн единиц информации, формирующих базу данных и знаний.

Обработка оцифрованных данных по содержанию контаминантов в биосредах обследованных лиц, проживающих в различных регионах России, позволила визуализировать пространственное распределение информации по биомаркерам аэрогенной экспозиции.

На основе анализа полученных результатов подтверждены факты хронических экспозиций насе-

ления высокотоксичными веществами (1-й и 2-й классы опасности), в том числе на уровне до 10  $RfC$ . В биосредах концентрации металлов, адекватных факторам экспозиции (оксидам алюминия, марганца, хрома, никеля, меди, свинца и др.), определяются на уровне до 8  $RfL$ , органических соединений (бензола, толуола, ксилола, этилбензола, фенола бенз(а)пирена, формальдегида и др.) – до 10 Ф (рис. 9, 10). Выявлено, что масштабно распространены из них порядка 10 веществ, обоснованных в качестве биомаркеров экспозиции. Формируются локальные зоны экспонированных с контаминацией биосред высокотоксичными соединениями (мышьяк, ртуть, фтор и др.).

В целом с учетом неравномерного распределения по регионам России под экспозицией находятся 71,3 млн человек, в том числе 14,3 млн детей.

В результате реализации научно обоснованного подхода к выделению высокоопасных веществ, подлежащих первоочередному контролю в зоне экспозиции (на примере зоны, сформированной выбросами от источников производства алюминия), установлено, что приоритетный минимально достаточный перечень веществ включает три вещества из 45 компонентов, поступающих в атмосферный воздух. Это алюминия оксид, фторид водорода и фториды твердые и бенз(а)пирен. При нарушении гигиенических нормативов по данным компонентам программа наблюдений может быть расширена за счет наиболее тесно связанных с ними 13 веществ, поступающих в атмосферный воздух (подтверждено статистически). Так, при превышении содержания бенз(а)пирена в точках контроля программа наблюдений расширяется за счет включения двух веществ – смолистых веществ и масла нефтяного минерального. Перечень веществ, подлежащих контролю в атмосферном воздухе и дифференцированных по его очередности, представлен в таблице.

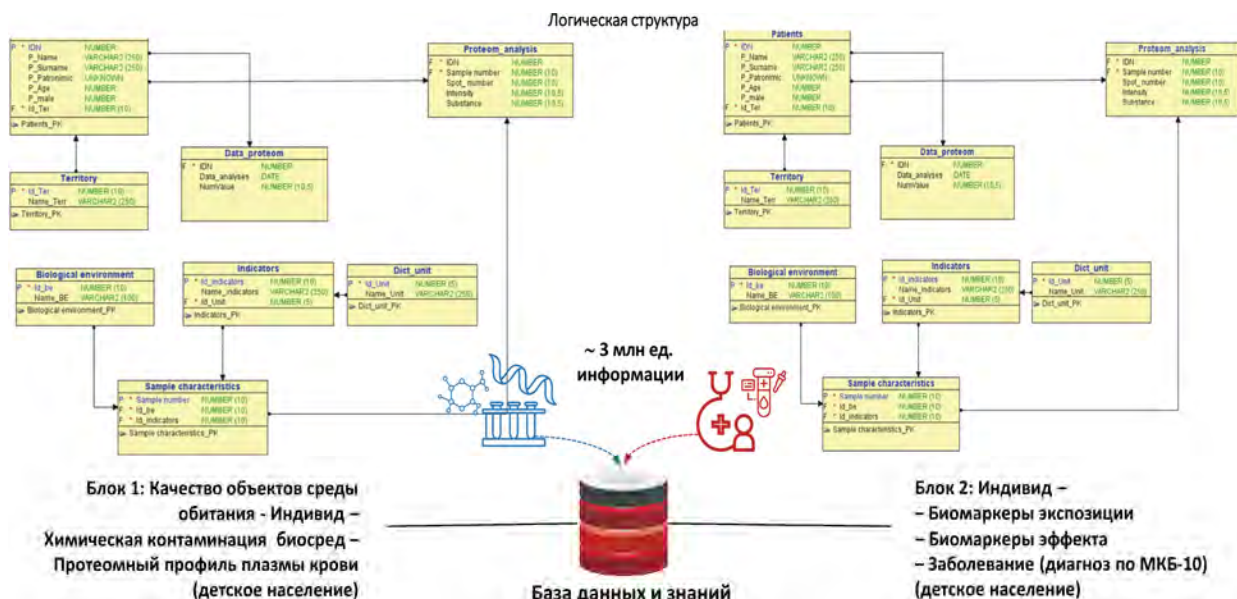


Рис. 8. Схематическое представление составных блоков электронного регистра оцифрованных аутентичных данных, сопряженных в системе «среда – здоровье»



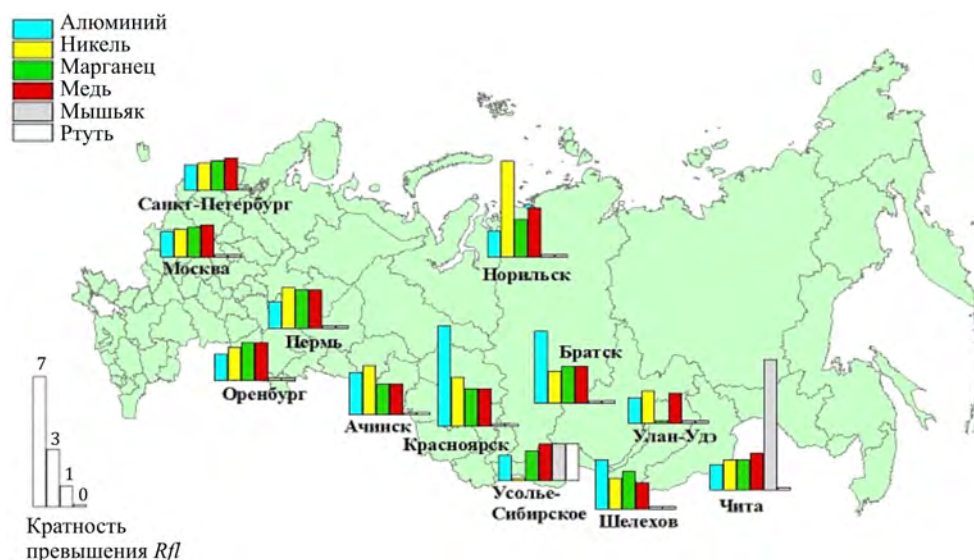


Рис. 9. Содержание металлов в биосредах экспонированных лиц в регионах РФ



Рис. 10. Содержание органических соединений в биосредах экспонированных лиц в регионах РФ

Перечень веществ, подлежащих контролю в атмосферном воздухе в зоне экспозиции от источников алюминиевого производства

Приоритетные вещества, подлежащие первоочередному контролю в атмосферном воздухе					
Алюминия оксид		Водорода фторид и фториды твердые		Бенз(а)пирен	
Вещества, рекомендуемые для расширения программы наблюдения					
Взвешенные вещества	0,96*	Азота оксид	0,82	Смолистые вещества	0,76
Свинец и его соед.	0,96	Диметилсульфид	0,76	Масло минеральное нефтяное	0,74
Марганец оксид	0,90	Водород цианистый	0,75		
Пыль неорг. SiO <sub>2</sub>	0,89	Гидрохлорид	0,74		
Медь оксид	0,84				
Мазутная зола ТЭС (Va)	0,77				
Железа оксид	0,59				

Примечание: \* – коэффициент детерминации ( $R^2$ ).

Репрезентативность выбора приоритетных веществ, подлежащих первоочередному контролю, подтверждена установленными фактическими случаями ассоциированной болезненности у взрослого трудоспособного и детского населения (суммарно до 490 сл./1000).

Таким образом, представленные результаты научных работ целиком и полностью посвящены расширению возможностей обеспечения успешных практик управления рисками причинения вреда (ущерба) в интересах защиты охраняемых законом ценностей – жизни и здоровья граждан и направлены на достижение ключевых национальных целей развития РФ. Оцифрованная версия прогноза (цифровая платформа) как многоуровневая каскадная модель является инструментарием научного анализа гигиенической ситуации с параметризацией ожидаемых негативных исходов, определяет способы их коррекции и профилактики, что повышает надежность гигиенических оценок и обоснованность управленческих решений.

**Выводы.** Разработана, апробирована научно-методическая основа и создана цифровая платформа

прогноза риск-ассоциированных негативных эффектов на различных уровнях организации живого: от молекулярного до популяционного.

Многоуровневая архитектура биоинформационного распознавания ответа обеспечивает переход от контактного исследования к численному эксперименту и количественному прогнозированию без информационных потерь.

Результаты исследования патогенетических механизмов модифицирующего действия химических контаминантов на белково-генетические и органно-системные компоненты ответа повышают надежность гигиенических оценок и эффективность социально-гигиенического мониторинга и контрольно-надзорной деятельности по достижению социально-значимых результатов.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Онищенко Г.Г. Актуальные проблемы и перспективы развития методологии анализа риска в условиях современных вызовов безопасности для здоровья населения Российской Федерации // Анализ риска здоровью. – 2023. – № 4. – С. 4–18. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.01
2. Потери лет жизни вследствие смертности от заболеваний мочевыделительной системы в промышленном регионе Казахстана с загрязнением атмосферного воздуха / Ш.С. Бибитова, Ж.Ж. Галиакпарова, М.А. Жаксылык, И.В. Лопуха, Р.Н. Оралова, А.К. Сандыбаева, Ж.У. Хашимов, Н.К. Дюсембаева [и др.] // Гигиена и санитария. – 2024. – Т. 103, № 2. – С. 120–129. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-2-120-129
3. Анализ отдельных перспективных направлений развития оценки риска для здоровья населения в Российской Федерации (обзор литературы) / М.Ю. Мозганов, Н.И. Николаева, А.С. Филин, В.В. Малышек, Г.Г. Онищенко // Гигиена и санитария. – 2024. – Т. 103, № 1. – С. 76–80. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-1-76-80
4. Современные вызовы и пути совершенствования оценки и управления рисками здоровью населения / В.Н. Ракитский, С.В. Кузьмин, С.Л. Авалиани, Т.А. Шашина, Н.С. Додина, В.А. Кислицин // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 3. – С. 23–29. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.03
5. Методические подходы к оценке и прогнозированию индивидуального риска здоровью при воздействии комплекса разнородных факторов для задач персонализированной профилактики / М.А. Землянова, Н.В. Зайцева, Д.А. Кирьянов, О.Ю. Устинова // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 1. – С. 34–43. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-1-34-43
6. Методический подход к организации мониторинга общественного здоровья Российской Федерации / Т.П. Васильева, А.В. Ларионов, С.В. Русских, А.Б. Зудин, Р.В. Горенков, М.Д. Васильев, А.А. Костров, А.А. Хапалов // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2022. – № 7. – С. 7–17. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-7-7-17
7. Методический подход к составлению классификатора вызовов общественному здоровью / Т.П. Васильева, А.В. Ларионов, С.В. Русских, А.Б. Зудин, А.Е. Васюнина, М.Д. Васильев, В.М. Ротов // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2024. – Т. 32, № 2. – С. 7–17. DOI: 10.35627/2219-5238/2024-32-2-7-17
8. Модифицирующее влияние факторов среды обитания на течение эпидемического процесса COVID-19 / Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова, С.В. Клейн, А.Н. Летюшев, Д.А. Кирьянов, В.М. Чигвинцев, М.В. Глухих // Гигиена и санитария. – 2022. – Т. 101, № 11. – С. 1274–1282. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-11-1274-1282
9. Прогноз научно-технологического развития России: 2030. Медицина и здравоохранение / под ред. Л.М. Гохберга, Л.М. Огородовой. – М.: Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014. – 48 с.
10. Skinner M.K. Environmental epigenomics and disease susceptibility // EMBO Rep. – 2011. – Vol. 12, № 7. – P. 620–622. DOI: 10.1038/embor.2011.125
11. Rappaport S.M. Discovering environmental causes of disease // J. Epidemiol. Community Health. – 2012. – Vol. 66, № 2. – P. 99–102. DOI: 10.1136/jech-2011-200726
12. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Долгих О.В. Геномные, транскриптомные и протеомные технологии как современный инструмент диагностики нарушений здоровья, ассоциированных с воздействием факторов окружающей среды // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 1. – С. 6–12. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-1-6-12
13. Anderson N.L., Anderson N.G. The human plasma proteome: history, character, and diagnostic prospects // Mol. Cell. Proteomics. – 2002. – Vol. 1, № 11. – P. 845–867. DOI: 10.1074/mcp.r200007-mcp200
14. Statistical analysis of variation in the human plasma proteome / T.H. Corzett, I.K. Fodor, M.W. Choi, V.L. Walsworth, K.W. Turteltaub, S.L. McCutchen-Maloney, B.A. Chromy // J. Biomed. Biotechnol. – 2010. – Vol. 2010. – P. 258494. DOI: 10.1155/2010/258494

15. Ahmad A., Imran M., Ahsan H. Biomarkers as Biomedical Bioindicators: Approaches and Techniques for the Detection, Analysis, and Validation of Novel Biomarkers of Diseases // *Pharmaceutics*. – 2023. – Vol. 15, № 6. – P. 1630. DOI: 10.3390/pharmaceutics15061630
16. Социально-гигиенический мониторинг на современном этапе: состояние и перспективы развития в сопряжении с риск-ориентированным надзором / Н.В. Зайцева, И.В. Май, Д.А. Кирьянов, Д.В. Горяев, С.В. Клейн // *Анализ риска здоровью*. – 2016. – № 4. – С. 4–16. DOI: 10.21668/health.risk/2016.4.01
17. Агамагомедова С.А. Риск-ориентированный подход при осуществлении контрольно-надзорной деятельности: теоретическое обоснование и проблемы применения // *Сибирское юридическое обозрение*. – 2021. – Т. 18, № 4. – С. 460–470. DOI: 10.19073/2658-7602-2021-18-4-460-470
18. A thumbwheel mechanism for APOA1 activation of LCAT activity in HDL / A.L. Cooke, J. Morris, J.T. Melchior, S.E. Street, W.G. Jerome, R. Huang, A.B. Herr, L.E. Smith [et al.] // *J. Lipid Res.* – 2018. – Vol. 59, № 7. – P. 1244–1255. DOI: 10.1194/jlr.M085332
19. Guo Q., Zhang C., Wang Y. Overexpression of apolipoprotein A-I alleviates endoplasmic reticulum stress in hepatocytes // *Lipids Health Dis.* – 2017. – Vol. 16, № 1. – P. 105. DOI: 10.1186/s12944-017-0497-3
20. Endogenous Human Proteins Interfering with Amyloid Formation / A.L. Gharibyan, S. Wasana Jayaweera, M. Lehmann, I. Anan, A. Olofsson // *Biomolecules*. – 2022. – Vol. 12, № 3. – P. 446. DOI: 10.3390/biom12030446
21. ApoA-I cleaved by transthyretin has reduced ability to promote cholesterol efflux and increased amyloidogenicity / M.A. Liz, C.M. Gomes, M.J. Saraiva, M.M. Sousa // *J. Lipid Res.* – 2007. – Vol. 48, № 11. – P. 2385–2395. DOI: 10.1194/jlr.M700158-jlr200
22. Magalhães J., Eira J., Liz M.A. The role of transthyretin in cell biology: impact on human pathophysiology // *Cell. Mol. Life Sci.* – 2021. – Vol. 78, № 17–18. – P. 6105–6117. DOI: 10.1007/s00018-021-03899-3
23. Kim S.Y., Park S.C. Physiological antioxidative network of the bilirubin system in aging and age-related diseases // *Front. Pharmacol.* – 2012. – Vol. 3. – P. 45. DOI: 10.3389/fphar.2012.00045
24. Bilirubin Decreases Macrophage Cholesterol Efflux and ATP-Binding Cassette Transporter A1 Protein Expression / D. Wang, A. Tosevska, E.H. Heiß, A. Ladurner, C. Mölzer, M. Wallner, A. Bulmer, K.-H. Wagner [et al.] // *J. Am. Heart Assoc.* – 2017. – Vol. 6, № 5. – P. e005520. DOI: 10.1161/JAHA.117.005520

*Научно-методические основы итерационного прогноза риска и вреда здоровью человека при воздействии химических факторов среды обитания: от белковых мишеней до системных метаболических нарушений / Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, Ю.В. Кольдибекова, Е.В. Пескова // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 18–31. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.02*

UDC 57.044; 616.092

DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.02.eng



Research article

## SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL GROUNDS FOR ITERATIVE PREDICTION OF RISK AND HARM TO HUMAN HEALTH UNDER CHEMICAL ENVIRONMENTAL EXPOSURES: FROM PROTEIN TARGETS TO SYSTEMIC METABOLIC DISORDERS

**N.V. Zaitseva<sup>1,2</sup>, M.A. Zemlyanova<sup>1</sup>, Yu.V. Koldibekova<sup>1</sup>, E.V. Peskova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya St., Perm, 614045, Russian Federation

<sup>2</sup>Russian Academy of Sciences, Department of Medical Sciences, 14 Solnyanka St., Moscow, 109240, Russian Federation

*Increasing the predictive potential of early diagnostics and correction of negative outcomes is becoming especially relevant for preventing and reducing personalized and population health risks, including those caused by environmental exposures. The purpose of the study was to develop scientific and methodological grounds for iterative numerical prediction of risk and harm to human health under chemical environmental exposures. The study design was based on the consistent implementation of an algorithm for system analysis of the development of negative effects under a chemical environmental exposure, from protein targets to systemic metabolic disorders. The in-depth examination covered more than 1 million people living under real long-term combined inhalation exposure at doses up to 5–10 RfC. About 350 digital multifactor models, including about 5.5 thousand parameters, were evaluated.*

Structural bioinformation matrices were constructed to identify the sequence of response events at the molecular-cellular level. These events are initiated by the transformation of the protein-peptide profile of human blood plasma, which determine the metabolome. The study clarifies the elements of involvement of 20 target proteins in the pathogenesis of metabolic disorders associated with hypertension, dyslipidemia, obesity, hepatitis, and cognitive dysfunction associated with chemical combined exposure. The criteria for the safe content of 10 contaminants were substantiated, taking into account their combinations in human biological media. Predictive assessments of pathogenetic pathways were confirmed by the facts of their implementation at the cellular-tissue, organ and body level as metabolic disorders and existing diseases of the cardiovascular, nervous systems, lipoprotein metabolism, etc., proven to be associated with effects produced by airborne pollutants, including combined ones.

The study expands the existing methodological approaches to assessing combined effects of chemicals taking into account parameterized cause-effect relations of biomarkers of exposure and effects and quantitative assessment of additional cases of risk occurrence. Assessment of the developed digital models revealed that combined chemical exposures were predominantly synergic and emergent (up to 70 % cases). We developed conceptual grounds and architecture of iterative risk prediction and the development of risk-associated diseases, including real harm to health upon elevated expression of protein targets. Thus, the digitized version of the forecast (digital platform), as a multi-level cascade model, is a tool for scientific analysis of a hygienic situation with the parameterization of expected negative outcomes. It determines methods for their correction and prevention, which increases the reliability of hygienic assessments and the validity of management decisions.

**Keywords:** health risk, caused harm, environmental factors, target proteins, negative effect, cascade model, cause-effect relations, forecast, digital platform.

## References

1. Onishchenko G.G. Development of the risk analysis methodology given the current safety challenges for public health in the Russian Federation: vital issues and prospects. *Health Risk Analysis*, 2023, no. 4, pp. 4–18. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.01.eng
2. Bibitova Sh.S., Galiakparova Zh.Zh., Zhaksylyk M.A., Lopuha I.V., Oralova R.N., Sandybayeva A.K., Khashimov Zh.U., Dyussebaeva N.K. [et al.]. Lost years of life due to the mortality from diseases of the urinary system in the industrial region of Kazakhstan with air pollution. *Gigiena i sanitariya*, 2024, vol. 103, no. 2, pp. 120–129. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-2-120-129 (in Russian)
3. Mozganov M.Yu., Nikolaeva N.I., Filin A.S., Malyshek V.V., Onishchenko G.G. Analysis of some promising directions of the development of the public health risk assessment in the Russian Federation (review article). *Gigiena i sanitariya*, 2024, vol. 103, no. 1, pp. 76–80. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-1-76-80 (in Russian)
4. Rakitskii V.N., Kuz'min S.V., Avaliani S.L., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislitsin V.A. Contemporary challenges and ways to improve health risk assessment and management. *Health Risk Analysis*, 2020, no. 3, pp. 23–29. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.03.eng
5. Zemlyanova M.A., Zaitseva N.V., Kiryanov D.A., Ustinova O.Yu. Methodological approaches to evaluation and prediction of individual risk to health under the exposure to a complex of different factors for tasks of personalized prophylaxis. *Gigiena i sanitariya*, 2018, vol. 97, no. 1, pp. 34–43. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-1-34-43 (in Russian).
6. Vasilieva T.P., Larionov A.V., Russkikh S.V., Zudin A.B., Gorenkov R.V., Vasiliev M.D., Kostrov A.A., Khapalov A.A. Methodological Approach to Organizing Public Health Monitoring in the Russian Federation. *ZNiSO*, 2022, no. 7, pp. 7–17. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-7-7-17 (in Russian).
7. Vasilieva T.P., Larionov A.V., Russkikh S.V., Zudin A.B., Vasyunina A.E., Vasiliev M.D., Rotov V.M. Methodological Approach to Compiling a Classifier of Public Health Challenges. *ZNiSO*, 2024, vol. 32, no. 2, pp. 7–17. DOI: 10.35627/2219-5238/2024-32-2-7-17 (in Russian).
8. Zaitseva N.V., Popova A.Yu., Kleyn S.V., Letyushev A.N., Kiryanov D.A., Chigvintsev V.M., Glukhikh M.V. Modifying impact of environmental factors on the course of an epidemic process. *Gigiena i sanitariya*, 2022, vol. 101, no. 11, pp. 1274–1282. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-11-1274-1282 (in Russian).
9. Prognoz nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossii: 2030. Meditsina i zdravookhranenie [Forecast of scientific and technological development of Russia: 2030. Medicine and healthcare]. In: L.M. Gokhberg, L.M. Ogorodova eds. Moscow, Ministry of Education and Science of the Russian Federation, HSE University, 2014, 48 p. (in Russian).

© Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., Koldibekova Yu.V., Peskova E.V., 2024

**Nina V. Zaitseva** – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific Director (e-mail: znv@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-25-34; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

**Marina A. Zemlyanova** – Doctor of Medical Sciences, Chief Researcher with the duties of the Head of the Department of Biochemical and Cytogenetic Methods of Diagnostics (e-mail: zem@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 236-39-30; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8013-9613>).

**Yulia V. Koldibekova** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Head of the Laboratory for Metabolism and Pharmacokinetics at the Department for Biochemical and Cytogenetic Diagnostic Techniques (e-mail: koldibekova@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-15; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3924-4526>).

**Ekaterina V. Peskova** – Junior Researcher at the Laboratory of Biochemical and Nanosensory Diagnostics at the Department for Biochemical and Cytogenetic Methods of Diagnostics (e-mail: peskova@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-15; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8050-3059>).

10. Skinner M.K. Environmental epigenomics and disease susceptibility. *EMBO Rep.*, 2011, vol. 12, no. 7, pp. 620–622. DOI: 10.1038/embor.2011.125
11. Rappaport S.M. Discovering environmental causes of disease. *J. Epidemiol. Community Health*, 2012, vol. 66, no. 2, pp. 99–102. DOI: 10.1136/jech-2011-200726
12. Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., Dolgikh O.V. Genomic, transcriptomic and proteomic technologies as a modern tool for health disorders diagnostics, associated with the impact of environmental factors. *Gigiena i sanitariya*, 2020, vol. 99, no. 1, pp. 6–12. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-1-6-12 (in Russian).
13. Anderson N.L., Anderson N.G. The human plasma proteome: history, character, and diagnostic prospects. *Mol. Cell. Proteomics*, 2002, vol. 1, no. 11, pp. 845–867. DOI: 10.1074/mcp.r200007-mcp200
14. Corzett T.H., Fodor I.K., Choi M.W., Walsworth V.L., Turteltaub K.W., McCutchen-Maloney S.L., Chromy B.A. Statistical analysis of variation in the human plasma proteome. *J. Biomed. Biotechnol.*, 2010, vol. 2010, pp. 258494. DOI: 10.1155/2010/258494
15. Ahmad A., Imran M., Ahsan H. Biomarkers as Biomedical Bioindicators: Approaches and Techniques for the Detection, Analysis, and Validation of Novel Biomarkers of Diseases. *Pharmaceutics*, 2023, vol. 15, no. 6, pp. 1630. DOI: 10.3390/pharmaceutics15061630
16. Zaitseva N.V., May I.V., Kiryanov D.A., Goryaev D.V., Kleyn S.V. Social and hygienic monitoring today: state and prospects in conjunction with the risk-based supervision. *Health Risk Analysis*, 2016, no. 4, pp. 4–16. DOI: 10.21668/health.risk/2016.4.01.eng
17. Agamogomedova S.A. Risk-Oriented Approach in the Implementation of Control and Supervision Activities: Theoretical Justification and Problems of Application. *Sibirskoe yuridicheskoe obozrenie*, 2021, vol. 18, no. 4, pp. 460–470. DOI: 10.19073/2658-7602-2021-18-4-460-470 (in Russian).
18. Cooke A.L., Morris J., Melchior J.T., Street S.E., Jerome W.G., Huang R., Herr A.B., Smith L.E. [et al.]. A thumbwheel mechanism for APOA1 activation of LCAT activity in HDL. *J. Lipid Res.*, 2018, vol. 59, no. 7, pp. 1244–1255. DOI: 10.1194/jlr.M085332
19. Guo Q., Zhang C., Wang Y. Overexpression of apolipoprotein A-I alleviates endoplasmic reticulum stress in hepatocytes. *Lipids Health Dis.*, 2017, vol. 16, no. 1, pp. 105. DOI: 10.1186/s12944-017-0497-3
20. Gharibyan A.L., Wasana Jayaweera S., Lehmann M., Anan I., Olofsson A. Endogenous Human Proteins Interfering with Amyloid Formation. *Biomolecules*, 2022, vol. 12, no. 3, pp. 446. DOI: 10.3390/biom12030446
21. Liz M.A., Gomes C.M., Saraiva M.J., Sousa M.M. ApoA-I cleaved by transthyretin has reduced ability to promote cholesterol efflux and increased amyloidogenicity. *J. Lipid Res.*, 2007, vol. 48, no. 11, pp. 2385–2395. DOI: 10.1194/jlr.M700158-jlr200
22. Magalhães J., Eira J., Liz M.A. The role of transthyretin in cell biology: impact on human pathophysiology. *Cell. Mol. Life Sci.*, 2021, vol. 78, no. 17–18, pp. 6105–6117. DOI: 10.1007/s00018-021-03899-3
23. Kim S.Y., Park S.C. Physiological antioxidative network of the bilirubin system in aging and age-related diseases. *Front. Pharmacol.*, 2012, vol. 3, pp. 45. DOI: 10.3389/fphar.2012.00045
24. Wang D., Tosevska A., Heiß E.H., Ladurner A., Mölzer C., Wallnerv M., Bulmer A., Wagner K.-H. [et al.]. Bilirubin Decreases Macrophage Cholesterol Efflux and ATP-Binding Cassette Transporter A1 Protein Expression. *J. Am. Heart Assoc.*, 2017, vol. 6, no. 5, pp. e005520. DOI: 10.1161/JAHA.117.005520

Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., Koldibekova Yu.V., Peskova E.V. Scientific and methodological grounds for iterative prediction of risk and harm to human health under chemical environmental exposures: from protein targets to systemic metabolic disorders. *Health Risk Analysis*, 2024, no. 2, pp. 18–31. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.02.eng

Получена: 03.05.2024

Одобрена: 07.06.2024

Принята к публикации: 20.06.2024



Научная статья

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ КОНТРОЛЬНО-НАДЗОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СФЕРЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ НАСЕЛЕНИЯ

Е.В. Ковалев<sup>1,2</sup>, М.Я. Занина<sup>1,2</sup>, А.В. Моцкус<sup>2</sup>, С.А. Мусиенко<sup>2</sup>, М.С. Машдиева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ростовской области, Российская Федерация, 344019, г. Ростов-на-Дону, ул. 18-я линия, 17

<sup>2</sup>Ростовский государственный медицинский университет, Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, Нахичеванский пер., 29

*Актуальность работы определена важностью оценки результативности и эффективности деятельности органов и организаций Роспотребнадзора в субъектах Федерации.*

*Осуществлена оценка результативности и эффективности контрольно-надзорных действий территориального управления Роспотребнадзора по Ростовской области в текущих условиях сокращения плановых проверок.*

*Объектом исследования явились контрольно-надзорные мероприятия Управления Роспотребнадзора по Ростовской области в течение 2023 г., направленные на улучшение качества среды обитания населения региона и опосредованно на снижение уровней смертности и заболеваемости населения, ассоциированных с вредным воздействием рисковенных факторов загрязнения атмосферного воздуха, питьевых вод, почв и т.п.*

*Исследование выполняли в соответствии с методическим инструментарием, разработанным Федеральным научным центром медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения и утвержденным Главным государственным санитарным врачом РФ. Методика определяет правила осуществления расчета экономических потерь от ассоциированных с факторами среды обитания смертности и заболеваемости населения (детского, трудоспособного и старше трудоспособного возраста). Исходными данными для расчета являлись результаты инструментальных исследований качества среды обитания населения городов Ростовской области и плановых и внеплановых контрольных мероприятий управления Роспотребнадзора по Ростовской области в 2023 г.*

*Установлено, что в результате контрольно-надзорных мероприятий службы предотвращено порядка 1760 случаев смерти и более 152,4 тыс. заболеваний, которые могли бы состояться в условиях отсутствия регулирующих действий службы. Предотвращенный экономический ущерб составил по итогам 2023 г. порядка 2,1 млрд руб. Экономическая эффективность, исходя из предотвращенных потерь валового регионального продукта Ростовской области в ценах 2023 г., составила 7,25 руб. на 1 руб. затрат.*

*Перспективными направлениями научно-методической поддержки практической деятельности Роспотребнадзора являются разработка и практическая реализация методических подходов к оценке эффективности профилактических мероприятий, поиск подходов к оценке результативности и эффективности иных направлений деятельности службы (лицензирование, регистрация новых и опасных веществ и продукции и т.п.).*

**Ключевые слова:** Роспотребнадзор, контрольно-надзорная деятельность, среда обитания, смертность, заболеваемость, экономический ущерб, результативность, эффективность.

© Ковалев Е.В., Занина М.Я., Моцкус А.В., Мусиенко С.А., Машдиева М.С., 2024

**Ковалев Евгений Владимирович** – руководитель; старший преподаватель кафедры эпидемиологии (e-mail: master@61.rospotrebnadzor.ru; тел: 8 (863) 251-05-92; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0840-4638>).

**Занина Марина Яковлевна** – кандидат медицинских наук, заместитель начальника отдела организации деятельности; доцент кафедры гигиены № 2 (e-mail: zanina@rpdnon.ru; тел: 8 (863) 263-66-42; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1153-4743>).

**Моцкус Анна Валерьевна** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей гигиены (e-mail: anna.mockus@yandex.ru; тел: 8 (863) 201-44-36; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4865-2123>).

**Мусиенко Сергей Анатольевич** – кандидат медицинских наук, исполняющий обязанности заведующего кафедрой гигиены № 2 (e-mail: gigienafpkpps@rambler.ru; тел: 8 (863) 201-44-36; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5624-4325>).

**Машдиева Маягозель Сахиповна** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры гигиены № 2 (e-mail: gigienafpkpps@rambler.ru; тел: 8 (863) 201-44-36; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8701-5189>).



Одной из ключевых целей государственного управления всех уровней является достижение результативности и эффективности управления в части сохранения основных общественных ценностей, среди которых – жизнь и здоровье граждан [1, 2]. Результативность, как правило, определяется как степень достижения поставленных общественных целей, а эффективность – как соотношение суммарного результата для общества с суммарными затратами деятельности федеральных органов исполнительной власти в денежном выражении [3]. Развитие системы государственного управления предполагает, что оценка результативности деятельности государственных органов власти должна быть приближена к оценке социальной эффективности деятельности данных органов, то есть должна соответствовать потребностям общества. В иерархии показателей результативности и эффективности контрольно-надзорной деятельности именно характеристики, отражающие минимизацию, снижение ущерба, причиненного жизни и здоровью граждан, являются ключевыми [4–6]. При этом важным аспектом при оценке результативности и эффективности деятельности органов государственной власти является принцип приоритета результативности над эффективностью [7], не исключая при этом вектор на повышение целесообразности, адресности и экономности (в конечном счете – эффективности) использования бюджетных средств [8].

В полном соответствии с общемировыми трендами российская административная реформа ставит задачи внедрения комплексной оценки результативности и эффективности деятельности контрольных (надзорных) органов и их деятельности с ориентацией на снижение ущерба государству. Данное положение закреплено стратегическим документом «Основные направления деятельности Правительства РФ на период до 2024 г.»<sup>1</sup>. Параметры результативности рассматриваются и как критерии зрелости систем управления контрольно-надзорной деятельностью органов исполнительной власти<sup>2</sup>.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека была среди первых органов государственной власти, ориентировавших контрольно-надзорную деятельность

на минимизацию рисков основным охраняемым ценностям – жизни, здоровью и санитарно-эпидемиологическому благополучию населения<sup>3</sup> [10]. Особое внимание санитарная служба уделяет качеству и безопасности объектов обитания граждан: атмосферному воздуху, природным и питьевым водам, почвам, пищевой продукции, условиям труда и отдыха и т.п. в силу того, что загрязнение среды обитания человека доказанно формирует медико-демографические потери в виде дополнительной заболеваемости, смертности и инвалидизации населения [11–14].

Для Ростовской области, как и для многих промышленно развитых регионов страны, характерны повышенные нагрузки на среду обитания населения. По данным экологических служб региона<sup>4</sup>, ежегодно от стационарных источников в атмосферу области выбрасывается порядка 125–170 тысяч т загрязняющих веществ, от передвижных – порядка 130 тысяч т. В составе выбросов целый комплекс опасных химических примесей, в том числе оксиды азота, диоксид серы, аммиак, летучие органические вещества, сажа и т.п. Как следствие, на постах наблюдения за качеством воздуха фиксируются превышения гигиенических нормативов веществ, негативно влияющих на состояние здоровья населения. К примеру, в г. Азове в 2022 г. зарегистрированы превышения по взвешенным веществам (до 2,4 ПДК<sub>сс</sub>), в Ростове-на-Дону – по взвешенным веществам (до 1,92 ПДК<sub>сс</sub>), диоксиду азота (до 1,6 ПДК<sub>мр</sub>), фенолу (до 1,8 ПДК<sub>мр</sub>), формальдегиду (до 3,7 ПДК<sub>сс</sub>), в г. Таганроге – до 5 ПДК<sub>мр</sub> по взвешенным веществам, до 3,4 ПДК<sub>мр</sub> по оксиду углерода, до 1,6 ПДК по хлористому водороду. Фиксируется ненормативное качество воздуха в городах Шахты, Новочеркасске, Миллерово, Новошахтинске, Сальске, Гуково.

П. Климов с соавт. [15] указывают на недопустимые риски для здоровья, сформированные загрязнением воздуха в городах региона. Отмечаются и высокие риски для здоровья населения вследствие неудовлетворительного качества питьевых вод<sup>5</sup>. Специалисты Роспотребнадзора признают неблагополучными водоснабжение территорий гг. Аксай, Батайск, Донецк, Каменск Шахтинский и других районов области. В целом по области порядка 26,8 % проб пить-

<sup>1</sup> Основные направления деятельности Правительства Российской Федерации на период до 2024 года / утв. Правительством РФ 29.09.2018 № 8028п-П13 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_307872/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_307872/) (дата обращения: 13.04.2024).

<sup>2</sup> Стандарт зрелости управления результативностью и эффективностью контрольно-надзорной деятельности / утв. протоколом заседания проектного комитета от 13.02.2018 № 1 [Электронный ресурс] // КОДИФИКАЦИЯ.РФ. – URL: <https://rulaws.ru/acts/Standart-zrelosti-upravleniya-rezultativnostyu-i-effektivnostyu-kontrolno-nadzornoy-deyatelnosti/> (дата обращения: 01.05.2024).

<sup>3</sup> Шестопапов Н.В., Симкалова Л.М., Митрохин О.В. Бюджетирование, ориентированное на результат, для специалистов Роспотребнадзора: учеб. пособие. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 256 с.

<sup>4</sup> Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2022 году» [Электронный ресурс]. – URL: <https://cloud.mail.ru/public/4YkA/PawdgNAoU> (дата обращения: 01.06.2024).

<sup>5</sup> Доклад о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Ростовской области в 2022 г. [Электронный ресурс] // Управление Роспотребнадзора по Ростовской области. – URL: [http://www.rpndon.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12028:-q-2022-q&catid=96:2009-12-30-08-03-55&Itemid=116](http://www.rpndon.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=12028:-q-2022-q&catid=96:2009-12-30-08-03-55&Itemid=116) (дата обращения: 01.06.2024).

екой воды населенных пунктов региона не соответствуют гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям. Факторами риска являлись: аммиак, марганец и его соединения, железо, сероводород. Частота нарушения нормативов по микробиологическому фактору составила в городах области 1,7 %; в районах – 2,9 %

Отдельные проблемы в регионе отмечены и в части соблюдения нормативного качества почв населенных мест: порядка 1,7 % отобранных проб не соответствовали нормативам по санитарно-химическим показателям, около 1,9 % – по микробиологическим.

Доля пищевой продукции, которая не соответствовала санитарно-эпидемиологическим требованиям, составила в 2023 г. порядка 2,8 %. Среди основных групп пищевой продукции, в которых фиксировали нарушения требований безопасности – продукция, которая наиболее широко востребована населением: молоко и молочная продукция, плодово-овощная продукция, рыба и нерыбные товары.

Все перечисленные проблемы, а также иные, связанные с нарушениями других факторов среды обитания (уровней городского шума, электромагнитных излучений и т.п.), учитывались при организации риск-ориентированной модели контрольно-надзорной деятельности, которая с 2017 г. является базовой в Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

В целом в 2023 г. Управлением Роспотребнадзора по Ростовской области проведено 784 плановые проверки. Это существенно меньше, чем в предыдущие годы. Но среди объектов, проверенных в плановом порядке, – объекты чрезвычайно высокого риска, реализующие деятельность по производству пищевых продуктов, объекты общественного питания, по торговле пищевыми продуктами (в целом 223 объекта), осуществляющие водоснабжение и водоотведение (43 объекта), утилизацию отходов (26 объектов), и т.п. Таким образом, так или иначе, значительная часть «рискогенных» объектов осталась в поле зрения региональной санитарной службы.

**Цель исследования** – оценка результативности и эффективности контрольно-надзорных действий территориального Управления Роспотребнадзора по Ростовской области в текущих условиях сокращения плановых проверок.

**Материалы и методы.** Оценку выполняли в соответствии с алгоритмом и методами, изложенными в методических рекомендациях МР 5.1.0095-14 «Расчет фактических и предотвращенных в результате контрольно-надзорной деятельности экономических потерь...»<sup>6</sup>. Методика определяет правила осуществ-

ления расчета экономических потерь от ассоциированных с факторами среды обитания: смертности и заболеваемости населения (детского, трудоспособного и старше трудоспособного возраста). Подходы базируются на результатах научных исследований, отраженных в публикациях А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой с соавт. [16–18], и позволяют оценивать как сложившиеся на территории медико-демографические потери в виде случаев заболеваний и смертей, достоверно ассоциированных с качеством среды обитания населения, так и демографические потери, предотвращаемые контрольно-надзорными действиями регулятора. Методика востребована и опробована на практике [19–20].

Экономический ущерб от смертности и заболеваемости населения, ассоциированных с вредным влиянием факторов среды обитания, рассматривается с учетом недопроизводства валового внутреннего продукта из-за выбытия гражданина из трудовой деятельности.

Расчеты основаны на наукоемком математическом моделировании связей в системе «среда обитания населения – здоровье» и «контрольно-надзорная деятельность – среда обитания». Метод – множественная регрессия.

Примеры параметров моделей связи «среда – здоровье (заболеваемость)», разработанных специалистами Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения и применяемых в расчетах, приведены в табл. 1.

Исходными данными для моделирования зависимостей являются материалы ведомственной статистики и социально-гигиенического мониторинга в разрезе субъектов Российской Федерации за три года. В настоящем исследовании были использованы результаты моделирования по данным 2010–2022 гг.

Аналогичные множественные регрессионные модели, но характеризующие связи контрольно-надзорных действий с факторами среды обитания, применяли для оценки изменений уровней факторов риска за исследованный период. Примеры моделей приведены в табл. 2.

Долю случаев нарушений здоровья, сопровождающихся выбытием человека из трудовой деятельности, определяли на основе данных региональной статистики по Ростовской области (статистический сборник «Труд и занятость в России», издаваемый Федеральной службой государственной статистики). Для оценки экономического ущерба от случаев смерти эта величина приравнивается к доле работающего населения. При оценке экономического ущерба от случаев заболеваний рассматривали долю

<sup>6</sup> МР 5.1.0095-14. Расчет фактических и предотвращенных в результате контрольно-надзорной деятельности экономических потерь от смертности, заболеваемости и инвалидизации населения, ассоциированных с негативным воздействием факторов среды обитания / утв. руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом РФ А.Ю. Поповой 23 октября 2014 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200129398> (дата обращения: 02.06.2024).

случаев, сопровождающихся оформлением листов временной нетрудоспособности.

Для детского населения долю случаев заболеваний, сопровождающихся оформлением листов временной нетрудоспособности, определяли на

основании формы 16-ВН «Сведения о причинах временной нетрудоспособности» как отношение числа случаев временной нетрудоспособности по причине «уход за больным» к общему числу случаев временной нетрудоспособности по всем причинам.

Т а б л и ц а 1

Коэффициенты регрессии зависимости заболеваемости населения от изменения уровня показателей нарушения качества объектов среды обитания (случаев/100 тыс. населения на единицу изменения показателя)<sup>7</sup>

Зависимая переменная (заболеваемость)	Независимая переменная (объект, нарушаемый показатель)	Контингент	Коэффициент регрессии
Некоторые инфекционные и паразитарные болезни	Водопроводы, нормы по микробиол. показателям	Все население	10,66
	Почвы, нормы по микробиологическим показателям		32,52
Болезни органов дыхания	Атмосферный воздух, ПДК NO <sub>2</sub>	Дети	1667,6
	Атмосферный воздух, ПДК NO		25,09
	Атмосферный воздух, ПДК фенола		1514,4
Болезни органов дыхания	Атмосферный воздух, ПДК NO <sub>2</sub>	Взрослые, трудоспособные	281,97
	Атмосферный воздух, ПДК NO		709,3
	Атмосферный воздух, ПДК фенола		6,5
Болезни эндокринной системы	Питьевая вода, ПДК мышьяка	Все население	19,12

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты регрессии зависимости показателя качества объектов среды обитания от показателей деятельности Роспотребнадзора (на 1 % на единицу изменения показателя)<sup>8</sup>

Наименование фактора среды обитания	Показатели деятельности органов и организаций Роспотребнадзора, направленные на управление качеством среды обитания населения	Коэффициенты регрессии,
Доля проб атмосферного воздуха с превышением ПДК по содержанию окислов азота (NO), %	Число обследований объектов с применением лабораторных методов исследования (на число обследованных промышленных предприятий – всего)	-661,706
Доля проб атмосферного воздуха с превышением ПДК по содержанию сера диоксида, %	Число проверок, по результатам проведения которых выданы предписания, плановые (на 1000 человек)	-0,507
Доля проб атмосферного воздуха с превышением ПДК по содержанию серной кислоты, %	Вынесено постановлений о назначении административного наказания (на число обследованных промышленных предприятий – всего)	-0,749
	Число обследований объектов, при которых выявлены нарушения санитарного законодательства (на число обследованных промышленных предприятий – всего)	-0,188
	Число обследований объектов, при которых выявлены нарушения санитарного законодательства (на число обследованных объектов обрабатывающих производств)	-3,336
Доля исследованных проб водопроводов, не соответствующих гигиеническим нормативам по микробиол. показателям, %	Число обследованных объектов по сбору и очистке воды	-80,346
Доля исследованных проб водопроводов, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям, %	Число вынесенных представлений об устранении причин (на число обследованных объектов с деятельностью области здравоохранения, коммунальных, социальных и персональных услуг)	-6,361
	Число дел, по которым судами принято решение о назначении адм. наказания (на число нарушений в деятельности по распределению воды)	-34,548

<sup>7</sup> Модели зависимостей обращаемости населения за медицинской помощью от содержания химических веществ в атмосферном воздухе для количественной оценки и прогнозирования рисков здоровью населения: база данных / Н.В. Зайцева, И.В. Май, Д.А. Кирьянов, С.В. Бабина, В.М. Чигвинцев, М.Ю. Цинкер, М.Р. Камалтдинов, С.В. Клейн [и др.]; свидетельство о регистрации: RU 2022623021, 22.11.2022; заявка № 2022622884 от 08.11.2022.

<sup>8</sup> МР 5.1.0095-14. Расчет фактических и предотвращенных в результате контрольно-надзорной деятельности экономических потерь от смертности, заболеваемости и инвалидизации населения, ассоциированных с негативным воздействием факторов среды обитания / утв. руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом РФ А.Ю. Поповой 23 октября 2014 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200129398> (дата обращения: 02.06.2024).

Средняя длительность одного случая нарушения здоровья, сопровождающегося выбытием человека из трудовой деятельности, принимали равной:

– для случаев смерти: половине календарного года ( $L = 183$  дня);

– для случаев заболеваний: средней длительности случая с временной нетрудоспособностью.

Источником информации для оценки длительности одного случая заболевания являлась Единая межведомственная информационно-статистическая система.

Экономическую эффективность контрольно-надзорной деятельности органов и организаций Роспотребнадзора оценивали по соотношению затрат на выполнение контрольно-надзорных мероприятий по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия и суммарного экономического ущерба, связанного с нарушениями здоровья (заболеваемость, смертность), предотвращенными в результате деятельности органов и организаций Роспотребнадзора.

Для выполнения расчетов по Ростовской области принимался скорректированный валовый региональный продукт за 2023 г., равный 1,41 млн руб. на одного занятого в экономике.

Затраты органов и организаций Роспотребнадзора в Ростовской области на выполнение контрольно-надзорной функции по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия определялись как доля общего объема финансовых средств, выделяемых на выполнение функций по контролю (надзору), составляющего 295,55 млн руб. (форма № 1-контроль «Сведения об осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля», раздел 3, строка 61). Доля общих финансовых средств, выделяемых на выполнение функций по контролю (надзору) для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, определяется согласно проценту проверок, осуществленных органами и организациями Роспотребнадзора в рамках обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения (форма № 1-18 «Сведения о результатах осуществления федерального государственного надзора территориальными органами Роспотребнадзора»). С учетом этого для расчетов был принят объем финансирования – 289,94 млн руб.

Расчеты экономических показателей от смертности и заболеваемости населения, ассоциированных с негативным воздействием факторов среды обитания за 2021–2023 гг., осуществляли в ценах 2023 г.

**Результаты и их обсуждение.** В целом результаты инструментальных исследований качества и безопасности внешнесредовых факторов, выраженные через долю проб с нарушением санитарно-эпидемиологических требований и нормативов, показали, что, несмотря на невысокую частоту нарушений, в регионе фиксируются случаи несоблюдения гигиенических нормативов качества среды обитания.

В течение 2023 г. зарегистрированы превышения ПДК<sub>мр</sub> и / или ПДК<sub>сс</sub> по взвешенным веществам,

диоксиду серы, оксидам азота, аммиаку, сероводороду, ароматическим углеводородам, алифатическим углеводородам.

Существенные нарушения критериев безопасности были отмечены в отношении качества питьевых вод, допустимых уровней шума, ряда гигиенических требований к качеству почв.

В табл. 3 приведена выборка из показателей, по которым в 2023 г. были отмечены наибольшие частоты нарушений гигиенических требований и нормативов.

Данные инструментальных измерений, полученные в результате контрольно-надзорных мероприятий и в ходе социально-гигиенического мониторинга, легли в основу определения количества случаев, ассоциированных с неудовлетворительным качеством среды обитания.

Нарушения критериев безопасности среды обитания имели следствием вероятностное формирование 1760 случаев смерти.

Установлено, что основная доля случаев смерти, ассоциированных с качеством среды обитания, приходится на взрослое население трудоспособного возраста (874 случая, или 49,7 % от общего числа смертей) и лиц старше трудоспособного возраста (866 случаев, или 49,2 %).

В структуре причин ассоциированной смертности – болезни системы кровообращения (порядка 36 %), системы пищеварения (около 39 %); новообразования (7,2 %), некоторые инфекционные и паразитарные болезни, болезни органов дыхания.

По результатам моделирования число заболеваний, вероятно ассоциированных с неудовлетворительным качеством объектов среды обитания в регионе, составило в 2023 г. более 152,4 тыс. случаев.

Порядка 53,1 тыс. заболеваний (34,8 %) – это случаи болезней детей: в основном болезни органов дыхания и пищеварения (13,3 и 12,4 тыс. случаев соответственно). В результате комплексного комбинированного воздействия факторов среды обитания у детей формируются заболевания системы крови и кроветворных органов (7,4 тыс. случаев в 2023 г.); болезни кожи и подкожной клетчатки (4,65 тыс. случаев); некоторые инфекционные и паразитарные заболевания (3,1 тыс. случаев); болезни мочеполовой, костно-мышечной, эндокринной систем и т.п.

Заболевания взрослого трудоспособного населения, ассоциированные с рискованными факторами среды обитания, составили в 2023 г. 65,6 тыс. случаев. Приоритет – болезни органов пищеварения, мочеполовой системы, органов дыхания. Заболевания этих трех классов составляют более половины всех случаев ассоциированной заболеваемости (34,6 тыс., или 52,7 % болезней трудоспособных граждан). Среди прочих заболеваний – болезни крови и кроветворных органов (6,7 тыс. случаев), болезни эндокринной системы (3,3 тыс.), новообразования (3,1 тыс. случаев) и болезни некоторых других классов.

Таблица 3

Доля показателей качества внешней среды обитания населения Ростовской области, не соответствующих санитарно-гигиеническим требованиям и нормам

Показатель качества объектов среды обитания	Доля проб с нарушением, %
<i>Атмосферный воздух</i>	
Толуол	3,70
Ксилол	0,99
Фенол	0,89
Хлористый водород	0,68
Взвешенные вещества	0,49
Ароматические углеводороды	0,46
Хлор и его соединения	0,36
Алифатические предельные углеводороды	0,27
Сероводород	0,19
Азота диоксид	0,14
<i>Питьевые воды</i>	
Водопроводы, санитарно-химические показатели	50,92
Магний и его соединения	66,67
Хлор	45,83
Хлориды (по Cl)	39,13
Сульфаты (по SO <sub>4</sub> )	30,23
Нитраты (по NO <sub>3</sub> )	9,20
Аммиак и аммоний ион	7,73
Алюминий	2,38
Железо (включая хлорное железо)	2,41
Бромдихлорметан	1,67
Хлороформ	0,62
<i>Почвы поселений</i>	
Микробиологические показатели	4,02
Паразитологические показатели	0,57
<i>Физические факторы среды обитания</i>	
Уровень шума	22,16
Уровень вибрации	2,41
Уровень электро-магнитного излучения	1,25

Заболевания, ассоциированные с факторами среды обитания у лиц старше трудоспособного возраста, составили порядка 33,7 тыс. случаев в 2023 г.

Экономический ущерб, сформированный смертностью и заболеваемостью, связанными с описанными факторами, и недополучением валового регионального продукта, составил в субъекте более 4,1 млрд руб. (567,98 млн руб. вследствие смертности населения и 3557 млн руб. вследствие дополнительной заболеваемости населения). Этих потерь могло бы не состояться при соблюдении хозяйствующими субъектами, объектами транспортной, коммунальной инфраструктуры, гражданами и пр. всех установленных санитарно-гигиенических требований к ведению деятельности.

Однако следует отметить, что указанные потери были бы существенно выше в условиях отсутствия регулирующих действий санитарной службы.

Несмотря на некоторые ограничения контрольно-надзорных плановых мероприятий, органы и организации Роспотребнадзора по Ростовской области в 2023 г. провели порядка 1630 проверок. При этом в строгом соответствии с принципами риск-ориентированного контроля (надзора) под особым

вниманием службы были объекты чрезвычайно высокого и высокого риска причинения вреда охраняемым ценностям. В 772 случаях плановых и в 660 случаях внеплановых проверок были выявлены нарушения обязательных требований.

По результатам 1389 проверок были приняты меры: возбуждены дела об административных правонарушениях; переданы материалы для обращения в суд; переданы материалы в правоохранительные органы о нарушениях законодательства для решения вопросов о возбуждении уголовных дел; переданы материалы в другие уполномоченные органы для принятия мер, предусмотренных законодательством.

Как следствие, регулирующие действия службы позволили не допустить более высоких уровней загрязнения атмосферы. Предупреждено почти 5,2 % нарушений по ряду ароматических углеводородов, 1,6 % превышений по хлористому водороду; 1,2 % – по взвешенным веществам. Предотвращены нарушения ПДК по серной кислоте (1,3 %); соединениям фтора и его производных (2,3 %), ряду других примесей.

Без контроля со стороны санитарной службы прогнозные уровни доли нестандартных проб питьевой воды могли бы вырасти на 1,5–5 % по разным

риск-индуцирующим факторам. Вероятное несоблюдение гигиенических нормативов по микробиологической составляющей было бы на 10,3 % выше, чем реально зафиксированное.

Принимая во внимание временной лаг, прогнозируется, что эффект действий будет реализовываться в 2024 г. По результатам действий службы в 2023 г. предотвращенные медико-демографические

потери в регионе составили по итогам 757 смертей и более 57,6 тыс. заболеваний (табл. 4 и 5).

Предотвращенный экономический ущерб как потери валового регионального продукта Ростовской области составил в 2023 г. 2,1 млрд руб. только за счет тех мероприятий Роспотребнадзора, которые обеспечивали отсутствие ухудшения качества среды обитания населения.

Т а б л и ц а 4

Число случаев смерти, предотвращенных в результате контрольно-надзорных мероприятий Роспотребнадзора, направленных на минимизацию рисковенных факторов среды обитания в 2023 г.

Контингент	Класс причин смерти	Предотвращенные случаи
Детское население	Смертность от некоторых инфекционных и паразитарных болезней	3
	Смертность от болезней органов пищеварения	104
Взрослое население трудоспособного возраста	Смертность от некоторых инфекционных и паразитарных болезней	79
	Смертность от злокачественных новообразований	5
	Смертность от болезней системы кровообращения	13
	Смертность от болезней органов дыхания	84
	Смертность от болезней органов пищеварения	126
Взрослое население пенсионного возраста	Смертность от некоторых инфекционных и паразитарных болезней	17
	Смертность от злокачественных новообразований	26
	Смертность от болезней системы кровообращения	48
	Смертность от болезней органов дыхания	165
	Смертность от болезней органов пищеварения	87
Всего		757

Т а б л и ц а 5

Число случаев заболеваний, предотвращенных в результате контрольно-надзорных мероприятий Роспотребнадзора, направленных на минимизацию рисковенных факторов среды обитания

Контингент населения	Класс заболевания	Предотвращенные случаи
Детское население	Некоторые инфекционные и паразитарные болезни	7963
	Новообразования	26
	Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	572
	Болезни нервной системы	485
	Болезни глаза и его придаточного аппарата	28
	Болезни системы кровообращения	53
	Болезни органов дыхания	7626
	Болезни органов пищеварения	3272
	Болезни кожи и подкожной клетчатки	809
	Болезни костно-мышечной системы	241
	Болезни мочеполовой системы	173
	Врожденные аномалии (пороки развития)	70
Взрослое население трудоспособного возраста	Некоторые инфекционные и паразитарные болезни	6033
	Новообразования	122
	Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	667
	Болезни эндокринной системы, расстройства питания	130
	Болезни нервной системы	965
	Болезни глаза и его придаточного аппарата	56
	Болезни органов дыхания	5673
	Болезни органов пищеварения	7327
	Болезни кожи и подкожной клетчатки	668
	Болезни костно-мышечной системы	711
	Болезни мочеполовой системы	966



Контингент населения	Класс заболевания	Предотвращенные случаи
Взрослое население пенсионного возраста	Некоторые инфекционные и паразитарные болезни	1637
	Новообразования	65
	Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	249
	Болезни эндокринной системы, расстройства питания	114
	Болезни нервной системы	290
	Болезни глаза и его придаточного аппарата	33
	Болезни системы кровообращения	2772
	Болезни органов дыхания	2765
	Болезни органов пищеварения	3948
	Болезни кожи и подкожной клетчатки	443
	Болезни костно-мышечной системы	468
	Болезни мочеполовой системы	258
Всего		57679

Следует отметить, что предотвращенные случаи смерти будут давать экономические выгоды еще несколько лет или даже десятилетий, т.е. на тот период, на который сохранилась трудоспособность гражданина как активного участника хозяйственной деятельности.

Эффективность контрольно-надзорной деятельности органов Роспотребнадзора по Ростовской области в 2023 г. составила порядка 7 руб. на 1 / руб. затрат.

Полученные результаты свидетельствуют об эффективной работе санитарных служб. Снижение уровней загрязнения объектов среды обитания, предупреждение медико-демографических потерь – доказательство целевого освоения бюджетных средств. Количество предотвращенных случаев смертей и заболеваний может рассматриваться как индикативный показатель результативности контрольно-надзорных действий Роспотребнадзора [21]. Глубокий анализ динамики результатов деятельности, эффективности отдельных видов контрольно-надзорных мероприятий может и должен ложиться в основу планирования деятельности органов санитарной службы в регионах [22]. Представляется, что такой анализ должен носить региональный характер в силу специфики загрязнения объектов среды обитания, структуры поднадзорных объектов и ответов со стороны экспонируемого населения.

Меры административного воздействия, такие как обследование с применением лабораторных методов оценки воздействия объектов на среду обитания, вынесение представлений, назначение административного наказания, вынесение штрафов и т.п., оказались наиболее действенными, результативными и эффективными. Однако перенос акцентов в организации контрольно-надзорной деятельности с плановых проверок на внеплановые и профилактические мероприятия требует поиска новых инструментов работы с хозяйствующими субъектами по достижению полного соответствия санитарно-эпидемиологическим требованиям и нормативам и минимизации рисков для здоровья населения [23]. Актуальной представляется и задача оценки результативности и эффективности профилактических ме-

роприятий, поскольку развитие деятельности Роспотребнадзора предполагает расширение и усиление именно профилактических мер при взаимодействии с хозяйствующими субъектами.

**Выводы.** Полученные результаты свидетельствуют об эффективной работе санитарных служб. Снижение уровней загрязнения объектов среды обитания, предупреждение медико-демографических потерь – доказательство целевого освоения бюджетных средств. В результате плановых и внеплановых контрольно-надзорных мероприятий службы предотвращено порядка 1760 случаев смерти и более 152,4 тыс. заболеваний, которые могли бы состояться в условиях нулевого варианта (отсутствия регулирующих действий службы).

Предотвращенный экономический ущерб составил по итогам 2023 г. порядка 2,1 млрд руб. Экономическая эффективность, исходя из предотвращенных потерь валового регионального продукта Ростовской области в ценах 2023 г., составила 7,25 руб. на 1 руб. затрат.

Важными и актуальными направлениями научно-методической поддержки практической деятельности Роспотребнадзора являются разработка и практическая реализация методических подходов к оценке эффективности профилактических мероприятий, поиск подходов к оценке результативности и эффективности иных направлений деятельности службы (лицензирование, регистрация новых и опасных веществ и продукции и т.п.).

**Благодарности.** Авторы благодарят специалистов Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения акад. РАН, д-ра мед. наук Нину Владимировну Зайцеву, д-ра биол. наук, проф. Ирину Владиславовну Май, канд. техн. наук Дмитрия Александровича Кириянова и с.н.с. Михаила Юрьевича Цинкера за значительную методическую и информационную помощь при подготовке публикации.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

## Список литературы

1. Manzoor A. A Look at Efficiency in Public Administration: Past and Future // SAGE Open. – 2014. – Vol. 4, № 4. – P. 1–5. DOI: 10.1177/2158244014564936
2. Grandy C. The “efficient” public administrator: Pareto and a well-rounded approach to public administration // Public Administration Review. – 2009. – Vol. 69, № 6. – P. 1115–1123. DOI: 10.1111/j.1540-6210.2009.02069.x
3. Кисляков А.С., Чернышева Т.К. К вопросу об эффективности и результативности деятельности федеральных органов исполнительной власти // Государственная власть и местное самоуправление. – 2019. – № 10. – С. 26–29. DOI: 10.18572/1813-1247-2019-10-26-29
4. Южаков В.Н., Добролюбова Е.И., Спиридонов А.А. Методические подходы к оценке контрольно-надзорной деятельности с позиции граждан как конечных бенефициаров // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Социология. – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 337–351. DOI: 10.22363/2313-2272-2019-19-2-337-351
5. Шебураков И.Б. Разработка и внедрение ключевых показателей эффективности на региональном уровне // Государственная служба. – 2014. – № 5 (91). – С. 85–90.
6. Hak M., Devčić A. Measuring the Efficiency of the State Administration Through the Key Performance Indicators // European Scientific Journal. – 2016. – Sp. Ed. – P. 128–138.
7. Сурилов М.Н. Подходы к оценке эффективности публичного управления: анализ и перспективы развития // Тренды и управление. – 2017. – № 3. – С. 92–103.
8. Чазова И.Ю., Исраилов М.В. Оценка эффективности деятельности органов государственной власти // Вестник Удмуртского университета. – 2019. – Т. 29, № 6. – С. 776–785. DOI: 10.35634/2412-9593-2019-29-6-776-785
9. Международный опыт оценки результативности долгосрочных бюджетных программ на федеральном, региональном и муниципальном уровне / С.Г. Белев, А.А. Мамедов, Н.С. Могучев, Т.В. Тищенко. – М., 2016. – 76 с. DOI: 10.2139/SSRN.2812132
10. Айдинов Г.Т., Правдюкова Е.А., Софьяникова Л.В. О подготовке к переходу на бюджетирование, ориентированное на конечный результат // Санитарный врач. – 2008. – № 3. – С. 63–64.
11. Клейн С.В., Никифорова Н.В., Вековщина С.А. Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения Российской Федерации // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2023. – Т. 15, № 5. – С. 306–321. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-5-943 (in English).
12. Beyer K.M.M., Namin S. Chapter 12 – Chronic environmental diseases: burdens, causes, and response // In book: Biological and Environmental Hazards, Risks, and Disasters (Second Edition) / ed. by R. Sivanpillai, J.F. Shroder. – Elsevier, 2023. – P. 223–249. DOI: 10.1016/B978-0-12-820509-9.00030-7
13. Зайцева Н.В., Май И.В., Балашов С.Ю. Медико-биологические показатели состояния здоровья населения в условиях комплексного природно-техногенного загрязнения среды обитания // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т. 11, № 1–6. – С. 1144–1148.
14. Нарушения физического развития у детей, проживающих в условиях низкоуровневого загрязнения атмосферного воздуха и питьевой воды металлами на примере Пермского края / К.П. Лужецкий, О.Ю. Устинова, А.Ю. Вандышева, С.А. Вековщина // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 1. – С. 70–75. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-1-70-75
15. Климов П.В., Басилаиа М.А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха и риск для здоровья населения Ростова-на-Дону // Научный альманах стран Причерноморья. – 2017. – Т. 10, № 2. – С. 46–51. DOI: 10.23947/2414-1143-2017-10-2-46-51
16. О научно-методическом обеспечении оценки результативности и эффективности контрольно-надзорной деятельности федеральной службы в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека / А.Ю. Попова, И.В. Брагина, Н.В. Зайцева, И.В. Май, П.З. Шур, О.В. Митрохин, Д.В. Горяев // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 1. – С. 5–9. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-1-5-9
17. Методические подходы к расчету фактических и предотвращенных медико-демографических и экономических потерь, ассоциированных с негативным воздействием факторов среды обитания / А.Ю. Попова, Н.В. Зайцева, И.В. Май, Д.А. Кирьянов // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94, № 7. – С. 95–99.
18. Методические аспекты и результаты оценки демографических потерь, ассоциированных с вредным воздействием факторов среды обитания и предотвращаемых действиями Роспотребнадзора, в регионах Российской Федерации / Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.В. Клейн, Д.А. Кирьянов // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2018. – № 4 (301). – С. 15–20. DOI: 10.35627/2219-5238/2018-301-4-15-20
19. Историк О.А., Кирьянов Д.А., Цинкер М.Ю. Определение эффективности контрольно-надзорной деятельности органов и организаций Роспотребнадзора в Ленинградской области на основе расчета предотвращенных экономических потерь от смертности и заболеваемости населения, ассоциированных с негативным воздействием факторов среды обитания // Актуальные вопросы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения на уровне субъекта федерации: материалы межрегиональной научно-практической интернет-конференции / под ред. А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. – Пермь, 2017. – С. 29–45.
20. Определение эффективности контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора на основе расчета рисков медико-демографических потерь на примере Воронежской области / И.И. Механтьев, Л.А. Масайлова, М.Ю. Цинкер, К.С. Ласточкина // Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья. – 2017. – № 70. – С. 95–99.
21. Рой Н.А., Мишина Е.С. Демографические показатели как индикаторы эффективности государственного управления // Новая экономика, бизнес и общество: сборник материалов апрельской научно-практической конференции молодых учёных ШЭМ / отв. ред. А.Б. Косолапов. – Владивосток, 2017. – С. 833–838.
22. Методические подходы к исследованию результативности и резервов управления в системе Роспотребнадзора по критериям предотвращённых потерь здоровья населения Российской Федерации / Н.В. Зайцева, Д.А. Кирьянов, М.Ю. Цинкер, В.Г. Костарев // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 2. – С. 125–134. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-125-134

23. Булетова Н.Е., Золотко Т.А. К вопросу оценки эффективности работы органов исполнительной власти по достижению национальных целей развития // Актуальные проблемы экономики и права. – 2020. – Т. 14, № 4. – С. 733–750. DOI: 10.21202/1993-047X.14.2020.4.733-750

*Региональные аспекты оценки результативности и эффективности риск-ориентированной модели контрольно-надзорной деятельности в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения / Е.В. Ковалев, М.Я. Занина, А.В. Моцкус, С.А. Мусиенко, М.С. Машидиева // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 32–43. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.03*

UDC 614.3/4

DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.03.eng



Research article

## REGIONAL ASPECTS IN ASSESSMENT OF PERFORMANCE AND EFFECTIVENESS OF THE RISK-BASED MODEL FOR CONTROL AND SURVEILLANCE ACTIVITIES IN PROVISION OF SANITARY-EPIDEMIOLOGICAL WELLBEING OF THE POPULATION

**E.V. Kovalev<sup>1,2</sup>, M.Ya. Zanina<sup>1,2</sup>, A.V. Motskus<sup>2</sup>, S.A. Musienko<sup>2</sup>, M.S. Mashdieva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Rostov Regional Office, 17 18<sup>th</sup> Liniya St., Rostov-on-Don, 344019, Russian Federation

<sup>2</sup>Rostov State Medical University, 29 Nakhichevanskii Av., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation

*This research is relevant since it is important to assess performance and effectiveness of activities performed by Rospotrebnadzor bodies and organizations in RF regions.*

*The aim of this study was to assess performance and effectiveness of control and surveillance activities performed by a territorial office of Rospotrebnadzor given the current reduction in scheduled inspections.*

*Control and surveillance activities performed by the Rospotrebnadzor Rostov Regional Office in 2023 were selected as the research object. They were aimed at improving the quality of the environment for the region population and indirectly at reducing population incidence and mortality associated with exposures to harmful risk factors represented by ambient air, water, and soil pollution etc.*

*The study was accomplished relying on methodical instruments developed by the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies and approved by the RF Chief Sanitary Inspector. The basic methodology establishes rules for calculating economic losses associated with population mortality and incidence (children, working age population and population older than working age) caused by environmental exposures. Calculations were based on the results of instrumental measurements of the environment quality in cities in the Rostov region and the results of scheduled and off-schedule control activities performed by the Rospotrebnadzor Rostov Regional Office in 2023.*

*It was established that control and surveillance activities performed by the Service managed to prevent approximately 1760 deaths and more than 152.4 thousand diseases, which could actually occur should the Service fail to perform its regulatory actions. The total prevented economic losses equaled approximately 2.1 billion rubles in 2023. Economic effectiveness was established relying on prevented losses of the gross regional product and equaled 7.25 rubles per 1 spent ruble in 2023 prices.*

© Kovalev E.V., Zanina M.Ya., Motskus A.V., Musienko S.A., Mashdieva M.S., 2024

**Evgenii V. Kovalev** – Head of the Administration; Senior Researcher of Epidemiology Department (e-mail: master@61.rospotrebnadzor.ru; tel.: +7 (863) 251-05-92; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0840-4638>).

**Marina Ya. Zanina** – Candidate of Medical Sciences, Deputy Head of the Department for Organization of Activities; Associate Professor of the Department of Hygiene No. 2 (e-mail: zanina@rpdn.ru; tel.: +7 (863) 263-66-42; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1153-4743>).

**Anna V. Motskus** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Common Hygiene Department (e-mail: banna.motskus@gmail.com; tel.: +7 (863) 250-42-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4865-2123>).

**Sergey A. Musienko** – Candidate of Medical Sciences, acting as Head of the Department of Hygiene No. 2 (e-mail: gigiena2@rostgmu.ru; tel.: +7 (863) 201-44-36; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5624-4325>).

**Mayyagozel S. Mashdieva** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Hygiene No. 2 (e-mail: gigiena2@rostgmu.ru; tel.: +7 (863) 201-44-36; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8701-5189>).

*There are several promising trends in the scientific and methodical support provided by practical activities performed by Rospotrebnadzor. They include development and implementation of methodical approaches to assessing effectiveness of prevention activities; searching for new approaches to assessing performance and effectiveness of other activities accomplished by the Service (licensing, registration of new and hazardous chemicals and products, etc.).*

**Keywords:** Rospotrebnadzor, control and surveillance activities, environment, mortality, incidence, economic losses, performance, effectiveness.

## References

1. Manzoor A. A Look at Efficiency in Public Administration: Past and Future. *SAGE Open*, 2014, vol. 4, no. 4, pp. 1–5. DOI: 10.1177/2158244014564936
2. Grandy C. The “efficient” public administrator: Pareto and a well-rounded approach to public administration. *Public Administration Review*, 2009, vol. 69, no. 6, pp. 1115–1123. DOI: 10.1111/j.1540-6210.2009.02069.x
3. Kislyakov A.S., Chernysheva T.K. On the efficiency and performance of federal executive authorities. *Gosudarstvennaya vlast' i mestnoe samoupravlenie*, 2019, no. 10, pp. 26–29. DOI: 10.18572/1813-1247-2019-10-26-29 (in Russian).
4. Yuzhakov V.N., Dobrolyubova E.I., Spiridonov A.A. Methodological approaches to the assessment of state control and inspection system by the citizens as its beneficiaries. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Sotsiologiya*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 337–351. DOI: 10.22363/2313-2272-2019-19-2-337-351 (in Russian).
5. Sheburakov I. Development and implementation of key performance indicators at the regional level. *Gosudarstvennaya sluzhba*, 2014, no. 5 (91), pp. 85–90 (in Russian).
6. Hak M., Devčić A. Measuring the Efficiency of the State Administration Through the Key Performance Indicators. *European Scientific Journal*, 2016, sp. ed., pp. 128–138.
7. Surilov M. Podkhody k otsenke effektivnosti publichnogo upravleniya: analiz i perspektivy razvitiya [Approaches to assessing the efficiency of public administration: analysis and development prospects]. *Trendy i upravlenie*, 2017, no. 3, pp. 92–103 (in Russian).
8. Chazova I.Yu., Israilov M.V. Estimation of efficiency of state authorities' activity. *Vestnik Udmurtskogo universiteta*, 2019, vol. 29, no. 6, pp. 776–785. DOI: 10.35634/2412-9593-2019-29-6-776-785 (in Russian).
9. Belev S.G., Mamedov A.A., Moguchev N.S., Tischenko T.V. International experience in assessing the long-term budgetary impact of programs at the federal, regional and municipal level. Moscow, 2016, 76 p. DOI: 10.2139/SSRN.2812132 (in Russian).
10. Aidinov G.T., Pravdyukova E.A., Sofyanikova L.V. O podgotovke k perekhodu na byudzhetirovanie, orientirovannoe na konechnyi rezul'tat [On preparing to the transition to results-based budgeting]. *Sanitarnyi vrach*, 2008, no. 3, pp. 63–64 (in Russian).
11. Kleyn S.V., Nikiforova N.V., Vekovshinina S.A. Assessing influence exerted by ambient air pollution on public health in the Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 5, pp. 306–321. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-5-943
12. Beyer K.M.M., Namin S. Chapter 12 – Chronic environmental diseases: burdens, causes, and response. In book: *Biological and Environmental Hazards, Risks, and Disasters (Second Edition)*. In: R. Sivanpillai, J.F. Shroder eds. Elsevier, 2023, pp. 223–249. DOI: 10.1016/B978-0-12-820509-9.00030-7
13. Zaytseva N.V., May I.V., Balashov S.Yu. Medical and biologic parameters of the population health state in conditions of inhabitancy complex natural-technogenic pollution. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2009, vol. 11, no. 1–6, pp. 1144–1148 (in Russian).
14. Luzhetskiy K.P., Ustinova O.Yu., Vandysheva A.Yu., Vekovshinina S.A. The disorders of physical development of children residing in the conditions of low-level contamination of the atmospheric air and drinking water by metals (lead, manganese, nickel, chrome, cadmium) on the example of the Perm Region. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 1, pp. 70–75. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-1-70-75 (in Russian).
15. Klimov P., Basilaia M. Estimation of atmospheric air pollution and health risk for Rostov-on-Don population. *Science Almanac of Black Sea Region Countries*, 2017, vol. 10, no. 2, pp. 46–51. DOI: 10.23947/2414-1143-2017-10-2-46-51
16. Popova A.Yu., Bragina I.V., Zaitseva N.V., May I.V., Shur P.Z., Mitrokhin O.V., Goryaev D.V. On the scientific and methodological support of the assessment of the performance and effectiveness of the control and supervision activity of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 1, pp. 5–9. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-1-5-9 (in Russian).
17. Popova A.Yu., Zaytseva N.V., May I.V., Kiryanov D.A. Methodological approaches to the calculation of actual and prevented as a result of the control and supervisory activities, medical-demographic and economic losses, associated with the negative impact of environmental factors. *Gigiena i sanitariya*, 2015, vol. 94, no. 7, pp. 95–99 (in Russian).
18. Zaitseva N.V., May I.V., Klein S.V., Kiryanov D.A. Methodological aspects and results of estimation of demographic loss associated with harmful influence of environment factors and preventive activities of Rospotrebnadzor in regions of the Russian Federation. *ZNiSO*, 2018, no. 4 (301), pp. 15–20. DOI: 10.35627/2219-5238/2018-301-4-15-20 (in Russian).
19. Istorik O.A., Kiryanov D.A., Tsinker M.Yu. Opredelenie effektivnosti kontrol'no-nadzornoj deyatel'nosti organov i organizatsii Rospotrebnadzora v Leningradskoi oblasti na osnove rascheta predotvrashchennykh ekonomicheskikh poter' ot smertnosti i zaboлеваemosti naseleniya, assotsirovannykh s negativnym vozdeistviem faktorov sredy obitaniya [Determination of the effectiveness of control and surveillance activities of Rospotrebnadzor bodies and organizations in the Leningrad region based on the calculation of prevented economic losses from population mortality and morbidity associated with the negative

impact of environmental factors]. *Aktual'nye voprosy obespecheniya sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya na urovne sub"ekta Federatsii: materialy mezhhregional'noi nauchno-prakticheskoi internet-konferentsii*. In: A.Yu. Popova, N.V. Zaitseva eds. Perm, 2017, pp. 29–45 (in Russian).

20. Mehantiev I.I., Masaylova L.A., Tsinker M.Yu., Lastochkina K.S. The evaluation of efficiency of Rospotrebnadzor's control supervision activity based on the risk estimation of medical demographic losses exemplified by the Voronezh region. *Nauchno-meditsinskii vestnik Tsentral'nogo Chernozem'ya*, 2017, no. 70, pp. 95–99 (in Russian).

21. Roy N., Mishina E. Demographic indicators as indicators of the efficiency of public administration. New economy, business and society. Collection of materials from the April scientific and practical conference of young scientists. *Novaya ekonomika, biznes i obshchestvo: sbornik materialov aprel'skoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh ShEM, nauchnoe elektronnoe izdanie*. In: A.B. Kosolapov ed. Vladivostok, 2017, pp. 833–838 (in Russian).

22. Zaitseva N.V., Kiryanov D.A., Tsinker M.Yu., Kostarev V.G. Methodical approach to the investigation of reserves in performance and management in the system of Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Rospotrebnadzor) as according to prevented health losses in the population of the Russian Federation. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 2, pp. 125–134. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-125-134 (in Russian).

23. Buletova N.E., Zolotko T.A. On assessing the efficiency of executive authorities in achieving the national development goals. *Aktual'nye problemy ekonomiki i prava*, 2020, vol. 14, no. 4, pp. 733–750. DOI: 10.21202/1993-047X.14.2020.4.733-750 (in Russian).

*Kovalev E.V., Zanina M.Ya., Motskus A.V., Musienko S.A., Mashdieva M.S. Regional aspects in assessment of performance and effectiveness of the risk-based model for control and surveillance activities in provision of sanitary-epidemiological wellbeing of the population. Health Risk Analysis, 2024, no. 2, pp. 32–43. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.03.eng*

Получена: 03.05.2024

Одобрена: 14.06.2024

Принята к публикации: 24.06.2024



Научная статья

## АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РИСКОВ ДЛЯ АККРЕДИТОВАННЫХ ОРГАНОВ ИНСПЕКЦИИ

С.П. Алексеенко<sup>1</sup>, А.В. Моцкус<sup>2</sup>, С.А. Мусиенко<sup>2</sup>, Г.В. Карпущенко<sup>1</sup>, М.С. Машдиева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Центр гигиены и эпидемиологии в Ростовской области, Российская Федерация, 344019,  
г. Ростов-на-Дону, ул. 7-я линия, 67

<sup>2</sup>Ростовский государственный медицинский университет, Российская Федерация, 344022,  
г. Ростов-на-Дону, Нахичеванский пер., 29

Законодательство Российской Федерации регламентирует необходимость аккредитации в национальной системе организаций, привлекаемых контрольными (надзорными) органами к осуществлению инспекций. Деятельность органов инспекции является стратегически важной и необходимой для содействия надзору за реализацией национальных проектов развития. Особую актуальность приобретает задача по обеспечению бесперебойного функционирования аккредитованных органов инспекции. Современные условия требуют совершенствования существующих, разработки и внедрения новых правовых и организационных подходов в деятельности федеральных бюджетных учреждений.

В связи с отсутствием статистических данных об объекте настоящего исследования и математических моделей использовался экспертный подход к идентификации риска с использованием метода Делфи и экспертного суждения. Проведен анализ и дана оценка рисков деятельности аккредитованного органа инспекции, также сформулированы предложения по их минимизации. В исследовании принимали участие две группы: первая – эксперты (18 технических директоров трех органов инспекции), вторая – аналитики. В качестве экспертов выбраны наиболее компетентные специалисты в рассматриваемой сфере деятельности, в которой будут выявляться риски, несущие, согласно своим функциональным обязанностям, ответственность за риски в деятельности органа инспекции, а также за действия по реагированию на них. Для получения идей, касающихся рисков, с помощью анкеты собирали ответы экспертов, распределяли по категориям и анализировали. С помощью диаграммы анализа риска была определена величина риска, исходя из которой принимались в дальнейшем меры реагирования. Составлен реестр уровней рисков и мер реагирования на них. Идентифицирован высокий риск в деятельности органа инспекции, связанный с внешним влиянием новых изменений законодательства. Решением сложившейся проблемы могло бы быть реформирование системы аккредитации организаций, работающих в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия.

**Ключевые слова:** аккредитация, орган инспекции, центр гигиены и эпидемиологии, анализ риска, оценка риска, метод Делфи, диаграмма анализа риска, реестр уровней рисков, меры реагирования.

Законодательство Российской Федерации регламентирует необходимость аккредитации в национальной системе организаций, привлекаемых контрольными (надзорными) органами к осуществле-

нию инспекций. Данное требование закреплено положениями статьи 42 Федерального закона от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»<sup>1</sup>. Также, в соот-

© Алексеенко С.П., Моцкус А.В., Мусиенко С.А., Карпущенко Г.В., Машдиева М.С., 2024

**Алексеенко Сергей Павлович** – кандидат медицинских наук, заведующий отделом санитарно-эпидемиологической инспекционной деятельности (e-mail: [pitan@donses.ru](mailto:pitan@donses.ru); тел.: 8 (863) 251-05-85; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0674-901X>).

**Моцкус Анна Валерьевна** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей гигиены (e-mail: [banna.motkus@gmail.com](mailto:banna.motkus@gmail.com); тел.: 8 (863) 250-42-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4865-2123>).

**Мусиенко Сергей Анатольевич** – кандидат медицинских наук, исполняющий обязанности заведующего кафедрой гигиены № 2 (e-mail: [gigiena2@rostgmu.ru](mailto:gigiena2@rostgmu.ru); тел.: 8 (863) 201-44-36; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5624-4325>).

**Карпущенко Гарри Викторович** – кандидат медицинских наук, главный врач (e-mail: [k\\_gv@donses.ru](mailto:k_gv@donses.ru); тел.: 8 (863) 201-44-36; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4672-8753>).

**Машдиева Майягозель Сахиповна** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры гигиены № 2 (e-mail: [gigiena2@rostgmu.ru](mailto:gigiena2@rostgmu.ru); тел.: 8 (863) 201-44-36; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8701-5189>).

<sup>1</sup> О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон № 52-ФЗ от 30.03.1999 (с изменениями на 24 июля 2023 года) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901729631> (дата обращения: 02.05.2024).

ветствии со статьей 33 Федерального закона от 31.07.2020 № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации»<sup>2</sup>, органы, уполномоченные на осуществление государственного контроля (надзора), могут привлекать к проведению мероприятий по контролю экспертные организации (органы инспекции), аккредитованные в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации.

Деятельность аккредитованных органов инспекции востребована и активно реализуется в различных отраслях во многих странах мира [1]. Внешняя инспекция и аккредитация являются примерами широко распространенных на международном уровне методов внешней оценки различных объектов. Деятельность органов инспекции является стратегически важной и необходимой для содействия надзору за реализацией национальных проектов развития, особенно с большими потенциальными выгодами [2]. Инспекционные службы вносят значительный вклад в поднятие системы безопасности в различных сферах на более высокий уровень [3]. В разных странах существуют разные национальные политические стратегии и механизмы, разработанные для проведения этих оценок. Несмотря на растущее внимание к влиянию внешней оценки в различных областях деятельности, по-прежнему существует пробел в знаниях о том, какие структуры и процессы влияют на ее результаты [4]. Центры гигиены и эпидемиологии, являясь подведомственными учреждениями Роспотребнадзора, выступают как уполномоченные для выполнения обязательных (регламентированных) схем подтверждения соответствия при обязательной оценке безопасности продукции [5]. В связи с этим особую актуальность приобретает задача по обеспечению бесперебойного функционирования аккредитованных органов инспекции. Для любой организации обязательным условием выполнения поставленных перед ней задач является сохранение возможности осуществлять свою деятельность [6]. Современные условия требуют совершенствования существующих, разработки и внедрения новых правовых и организационных подходов, включающих оптимизацию структуры, кадрового состава, правильную организацию работы в деятельности федеральных бюджетных учреждений [7]. Для определения проблемных ситуаций и снижения эффекта от их воздействия необходим анализ, оценка и управление рисками. При этом процесс управления базируется на получении, анализе и последующем практическом использовании информации. Недостаточность или неполнота информации о том

или ином событии порождают ситуацию неопределенности и риска [8]. Цикл управления рисками включает следующие процессы: планирование управления рисками, идентификацию рисков, качественный анализ рисков, количественный анализ рисков, планирование реагирования на риски, мониторинг и управление рисками<sup>3</sup>. Анализ рисков должен быть основополагающей деятельностью любой организации, поскольку выявление рисков позволяет предотвратить крупные финансовые потери [9]. Оценка рисков и риск-ориентированное мышление являются ключевыми аспектами, учитывая многогранную деятельность, присущую оценке соответствия [10]. Выбор методов управления рисками предполагает использование как стереотипных, так и оригинальных решений, содержащих экономически обоснованные рекомендации и мероприятия, направленные на снижение исходного уровня риска до приемлемого [11].

В связи с отсутствием статистических данных об объекте настоящего исследования и математических моделей авторы статьи посчитали целесообразным использование экспертного подхода к идентификации риска с применением метода Делфи (используется при недостаточности исходной информации о частоте и последствиях неблагоприятных событий [12]). Актуальность использования этого метода заключается в возможности предопределить развитие проблемных ситуаций, носящих долгосрочный характер [13]. Метод Делфи занимает особое место в каноне методов, используемых в исследованиях предвидения и будущего, а также в общих эмпирических исследованиях в различных дисциплинах, где неопределенность является проблемой (например, администрирование) [14]. Экспертное суждение является полезным инструментом для обеспечения возможности оценки рисков, когда данных мало, а неопределенность высока. Экспертное суждение необходимо для ответа на вопросы, связанные с политикой и принятием решений, выработкой выводов [15]. Результаты экспертных оценок риска являются основой для реализации следующего этапа управления – этапа регулирования (реагирования на инновационный риск), основанного на выборе методов оптимизации риска [16].

**Цель исследования** – провести анализ и оценку рисков в деятельности аккредитованного органа инспекции и дать предложения по их минимизации.

**Материалы и методы.** Исследование включало три этапа:

- подбор группы экспертов;
- постановка проблемы перед экспертами, рассылка им опросников;
- аналитический.

<sup>2</sup> О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации: Федеральный закон № 248-ФЗ от 31.07.2020 (с изменениями на 25 декабря 2023 года) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/565415215> (дата обращения: 02.05.2024).

<sup>3</sup> Шкурко В.Е. Управление рисками проектов: уч. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 184 с.

В исследовании принимали участие две группы: первая – эксперты, представляющие свою точку зрения на исследуемую проблему анонимно в письменной форме; во вторую организационную группу вошли аналитики (авторы настоящей статьи), приводящие мнения экспертов к единому итогу.

В качестве экспертов привлекались 18 технических директоров трех органов инспекции на базе ФБУЗ «ЦГиЭ в РО» как наиболее компетентные специалисты в рассматриваемой сфере деятельности, в которой будут выявляться риски, несущие, согласно своим функциональным обязанностям, ответственность за риски в деятельности органа инспекции, а также за действия по реагированию на них. Критерии включения в группу экспертов для настоящего исследования были следующие: наличие высшего медицинского образования по специальности «Медико-профилактическое дело», последилового образования по специальности «Общая гигиена» или «Эпидемиология», повышение квалификации по вопросам функционирования системы менеджмента качества за последние пять лет, релевантный опыт не менее пяти лет.

В процессе исследования было исключено прямое общение экспертов; оно заключалось в индивидуальном опросе всех членов группы с помощью анкет для выяснения мнений, основанных на личном опыте и знаниях о гипотетически вероятных негативных событиях, которые могут возникнуть в работе органа инспекции.

Для получения идей, касающихся рисков, с помощью анкеты собирали ответы экспертов. Анкета удовлетворяла ряду таких требований, как простота и однозначность понимания текста, краткость изложения, полнота изложения, иллюстративность [17]. Исходя из сложившейся собственной практики, экспертами устанавливались все возможные события, которые могут произойти в сфере деятельности аккредитованного органа инспекции и привести к негативным последствиям. В анкете был сформулирован вопрос открытого типа следующим образом: «Перечислите все потенциальные риски, связанные с деятельностью аккредитованного органа инспекции» (табл. 1).

При этом каждый названный экспертом риск необходимо было оценить с точки зрения вероятности его возникновения и тяжести возможных последствий. Значимость риска и вероятность наступления рисков события определялись посредством специально разработанных авторами статьи критериев. Значения вероятности реализации неблагоприятного события для его оценки приняты, исходя из определенных законодательством об аккредитации циклов деятельности аккредитованных лиц, за которые проводится внутренняя или внешняя оценка их деятельности: один раз в год (периодичность анализа со стороны руководства), один раз в 4 года (включает два цикла подтверждения компетентности), один раз в 2 года (соответствует одному циклу

Таблица 1

## Анкета для опроса экспертов

Перечислите все потенциальные риски, связанные с деятельностью аккредитованного органа инспекции	Оцените перечисленный фактор риска (согласно приложенным критериям оценки)	
	Оценка вероятности	Оценка тяжести последствий

Таблица 2

## Критерии оценки вероятности реализации неблагоприятного события в деятельности органа инспекции

Оценка вероятности, балл	Вероятность реализации неблагоприятного события
1 – практически равна нулю	Неблагоприятное событие не наступало в течение 5 лет
2 – незначительная	Неблагоприятное событие наступало от одного раза в 5 лет до одного раза в 4 года
3 – значительная	Неблагоприятное событие наступало от одного раза в 3 года до одного раза в 2 года
4 – высокая	Неблагоприятное событие наступало один раз в год или чаще

Таблица 3

## Критерии оценки тяжести последствий реализации неблагоприятного события в деятельности органа инспекции

Оценка тяжести, балл	Тяжесть последствий
1 – легкое	Не приводит к несоответствию критериям аккредитации
2 – средней тяжести	Объявление предостережения о недопустимости нарушения обязательных требований
3 – тяжелое	Приводит к приостановлению действия аккредитации в отношении определенной части области аккредитации
4 – критическое	Приводит к приостановлению действия аккредитации в отношении всей области аккредитации

подтверждения компетентности), один раз в 5 лет (охватывает пятилетний период подтверждения компетентности). Значения тяжести последствий определены, исходя из установленных законодательством полномочий Федеральной службы по аккредитации в случае выявления несоответствий в деятельности аккредитованных лиц, а также степени выраженности их влияния на способность органом инспекции продолжать свою деятельность в области, определенной при аккредитации (табл. 2, 3).

Экспертами оценивался эффект от перечисленных ими рисков событий, и таким рискам присваивалось цифровое значение, исходя из четырех возможных вариантов оценки вероятности (практически равна нулю, незначительная, значи-

тельная и высокая) и тяжести последствий (легкое, средней тяжести, тяжелое, критическое).

Ответы экспертов анализировались, распределялись аналитиками по категориям. Вычислялось среднее значение (балл) для одинаковых рисков событий, указанных экспертами.

На следующем этапе применялась технология определения вероятности и степени влияния рисков на деятельность. С помощью диаграммы анализа риска была определена величина риска, исходя из которой принимались дальнейшие меры реагирования. В качестве инструмента по управлению рисками выбрана матрица рисков, предполагающая расположение проектов в квадратах в соответствии с вероятностью наступления рисков и тяжестью от негативных последствий (рисунок). Матрицы рисков широко применяются в различных исследованиях. Более того, они обеспечивают поддержку в случаях, когда невозможно договориться о четкой количественной оценке [18]. Строили границу допустимого риска на качественной диаграмме с координатами: вероятность реализации опасного фактора – тяжесть последствий (см. рисунок). Если точка лежала на границе или выше границы, неблагоприятное событие учитывали, если ниже – не учитывали.

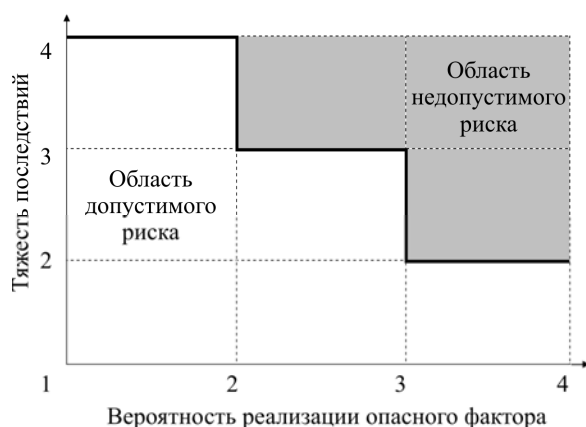


Рис. Диаграмма анализа риска

**Результаты и их обсуждение.** В результате анкетирования, проведенного в целях идентификации рисков, получены ответы, которые были объединены в следующие категории: персонал, технические средства и оборудование, внешнее влияние. В категорию «Персонал» отнесены следующие риски: отсутствие требуемого образования, подготовки,

технических знаний, навыков, опыта работы, временное отсутствие работников органа инспекции по профилю заявки, нарушение сроков выполнения работ, ошибки работников при выполнении работ. В категорию «Технические средства и оборудование» отнесены следующие риски: отсутствие подходящих и достаточных технических средств и оборудования, позволяющих осуществить инспекции. К категории «Внешнее влияние» отнесены: изменение законодательства в сфере аккредитации (критериев аккредитации<sup>4</sup>), вступление в силу новых документов, устанавливающих требования к объектам инспекции, либо методик инспекции (в том числе отбора проб). По результатам этого этапа исследования составлен реестр рисков, содержащий список идентифицированных рисков с их количественными оценками (табл. 4).

Все неопределенные события, наступление которых отрицательно может сказаться на непрерывном выполнении органом инспекции государственного задания (риски), идентифицированы в табл. 5. Риски классифицированы по группам в зависимости от источника их возникновения: персонал органа инспекции, внешнее влияние, технические средства и оборудование органа инспекции. Варианты воздействия на риск сформулированы авторами статьи на основании изучения документированных процедур действующей системы менеджмента качества трех органов инспекции («Управление персоналом», «Управление инспекциями», «Управление оборудованием»), а также действующих областей их аккредитации.

В различных отраслях приняты различные подходы к построению организационной структуры системы управления риском. В управлении рисками медицинских организаций остаются приоритетными риски, связанные с безопасностью пациентов [19]. В прочих отраслях организации разрабатывают и внедряют стратегии управления рисками для предотвращения финансовых потерь [20]. Одно из немногочисленных исследований современных проблем в деятельности Центров гигиены и эпидемиологии и пути их решения на примере Приморского края, Свердловской, Архангельской, Липецкой областей [7] не содержит анализа деятельности учреждения с позиции аккредитации органа инспекции. На момент написания статьи авторами не найдено доступных источников, где бы была проведена оценка рисков в деятельности органа инспекции Центра гигиены и эпидемиологии.

<sup>4</sup> Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации: Приказ Минэкономразвития России № 707 от 26.10.2020 (с изменениями на 23 января 2023 года) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566305944?section=text> (дата обращения: 02.05.2024); ГОСТ Р ИСО/МЭК 17020-2012. Оценка соответствия. Требования к работе различных типов органов инспекции: Национальный стандарт РФ [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200097436?section=text> (дата обращения: 02.05.2024).

Таблица 4

## Результаты опроса экспертов с количественной оценкой рисков

Потенциальные риски, связанные с деятельностью аккредитованного органа инспекции	Количество экспертов, указавших потенциальный риск	Оценка вероятности (средний балл)	Оценка тяжести (средний балл)
1	2	3	4
Персонал:			
– отсутствие требуемого образования, подготовки, технических знаний, навыков, опыта работы	12	1,3	3,8
– временное отсутствие работников по профилю заявки	16	1,1	3,9
– нарушение сроков выполнения работ	15	2,1	2,0
– ошибки работников при выполнении работ	14	2,1	1,9
Технические средства и оборудование:			
– отсутствие подходящих и достаточных технических средств и оборудования, позволяющих осуществить инспекции	16	1,3	4,0
Внешнее влияние:			
– изменение законодательства в сфере аккредитации (критериев аккредитации), вступление в силу новых документов, устанавливающих требования к объектам инспекции, либо методик инспекции (в том числе отбора проб)	18	3,0	4,0

Таблица 5

## Реестр уровней рисков в деятельности органа инспекции и мер реагирования на них

№ п/п	Идентификация риска	Оценка риска			Вариант воздействия на риск (мера реагирования)
		вероятность реализации	тяжесть последствий	величина риска*	
Персонал					
1	Отсутствие требуемого образования, подготовки, технических знаний, навыков, опыта работы	1,3	3,8	Средний	Возможно выделение дополнительных ресурсов, проведение мониторинга: процедуры приема работника и первичного обучения, мониторинга образования и деятельности персонала, проверки квалификации
2	Временное отсутствие работников органа инспекции по профилю заявки	1,1	3,9	Средний	Возможно выделение дополнительных ресурсов, проведение мониторинга: процедура приема заявок в орган инспекции, учитывающая анализ кадрового обеспечения выполнения заявки
3	Нарушение сроков выполнения работ	2,1	2,0	Средний	Возможно выделение дополнительных ресурсов, проведение мониторинга: процедура приема заявок в орган инспекции, учитывающая анализ сроков выполнения заявки
4	Ошибки работников при выполнении работ	2,1	1,9	Средний	Возможно выделение дополнительных ресурсов, проведение мониторинга: процедура мониторинга качества инспекций, страхование ответственности органа инспекции
Технические средства и оборудование					
1	Отсутствие подходящих и достаточных технических средств и оборудования, позволяющих осуществить инспекции	1,3	4,0	Средний	Возможно выделение дополнительных ресурсов, проведение мониторинга: процедура приема заявок в орган инспекции, учитывающая анализ технических ресурсов органа инспекции
Внешнее влияние					
1	Изменение законодательства в сфере аккредитации (Критериев аккредитации), вступление в силу новых документов, устанавливающих требования к объектам инспекции либо методикам инспекции (в том числе, отбора проб)	3,0	4,0	Высокий	Последствия риска велики, вероятность риска велика, и он имеет значительные последствия, условия реализации риска вне зоны контроля высшего руководства органа инспекции

Примечание: \* – высокий, средний, низкий величины риска установлены в зависимости от вероятности реализации и тяжести последствий. Риски с наибольшей вероятностью реализации и высокой тяжестью последствий влияния будут иметь высокий уровень, риски с наименьшей вероятностью реализации и низкой тяжестью последствий – низкий уровень. Промежуточные значения величин риска отнесены к среднему уровню.



В результате настоящего исследования идентифицирован высокий риск, связанный с внешним влиянием новых изменений законодательства, в том числе в сфере аккредитации, требующий либо перестройки действующей системы менеджмента качества органа инспекции, либо больших материальных ресурсов и временных затрат на расширение области аккредитации.

По нашему мнению, сложность внедрения новых документов в сфере аккредитации связана со спецификой задания их требований: в виде существенных требований, инвариантных к специфике различных типов организаций, в особенности в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия. Указанная система документации нелегка для применения аккредитованными лицами, так как сложно воплощать в практической деятельности общие (неконкретные) положения. Зачастую данные требования по-разному трактуются аккредитованными лицами и экспертами по аккредитации, что приводит в ряде случаев к конфликтам при подтверждении компетентности и приостановлению действия аккредитации. Существующий порядок аккредитации и процедур подтверждения компетенции основан на использовании ГОСТ, являющихся по сути дословными переводами на русский язык европейских стандартов, не учитывающих национальные особенности осуществления государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

Учитывая, что идентифицированный риск имеет значительные последствия и условия реализации риска вне зоны контроля высшего руководства органа инспекции, можно утверждать, что назрела необходимость разработки второй системы документов, содержащих конкретные требования к аккредитованным лицам, отвечающие целям и специфике деятельности организации, в состав которой входит аккредитованное лицо, а также определенному уровню развития гигиены и эпидемиологии. Положения этих документов должны четко отражать этот уровень, а также опыт организаций и динамично меняться.

Кроме того, сложившаяся система подтверждения компетентности аккредитованных в национальной системе аккредитации лиц не позволяет Центрам гигиены своевременно использовать впервые вступающие в силу нормативные документы, столь необходимые для проведения инспекций в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия в динамически меняющейся

санитарно-эпидемиологической обстановке. Так, СП 3.1/2.4.3598-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации работы образовательных организаций и других объектов социальной инфраструктуры для детей и молодежи в условиях распространения новой коронавирусной инфекции (COVID-19)»<sup>5</sup> так и не был применен органами инспекции Центра гигиены и эпидемиологии в Ростовской области для санитарно-эпидемиологической экспертизы в рамках области аккредитации, так как начало действия документа (03.07.2020) наступило после завершения процедуры подтверждения компетентности с расширением области аккредитации, а окончание срока действия документа (31.12.2023) наступило до наступления даты следующей процедуры подтверждения компетентности с предполагаемым расширением области аккредитации. При этом подавать отдельное заявление в Росаккредитацию на расширение области аккредитации на один нормативный документ является нецелесообразным по причине больших материальных и временных затрат, которые были так необходимы Центру гигиены и эпидемиологии в период пандемии COVID-19.

**Выводы.** В результате проведенного исследования выявлен как наиболее значимый правовой риск в деятельности аккредитованных органов инспекции Центра гигиены и эпидемиологии в Ростовской области, заключающийся в невозможности быстро адаптироваться под изменения законодательства в сфере аккредитации, внедрить в деятельность вступающие в силу новые документы, устанавливающие требования к объектам инспекции, либо методики инспекции (в том числе отбора проб). Указанный риск влечет за собой возможные финансовые потери в случае неисполнения в полном объеме государственного задания Роспотребнадзора, невозможности выполнить полностью или частично запрос заказчика в рамках приносящей доход деятельности, нарушает бесперебойную работу органа инспекции, в том числе в условиях глобального ухудшения санитарно-эпидемиологической обстановки, создает предпосылки для вынужденного нарушения законодательства об аккредитации по причине невозможности быстрой адаптации к вступающим новым положениям критериев аккредитации.

В этих условиях решением сложившейся проблемы могло бы быть реформирование системы аккредитации организаций, работающих в сфере

<sup>5</sup> Об утверждении санитарно-эпидемиологических правил СП 3.1/2.4.3598-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации работы образовательных организаций и других объектов социальной инфраструктуры для детей и молодежи в условиях распространения новой коронавирусной инфекции (COVID-19)»: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.06.2020 № 16 (не действует с 1 января 2024 года) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/565231806> (дата обращения: 02.05.2024).

санитарно-эпидемиологического благополучия, заключающееся в создании единых понятных ведомственных требований к органам инспекции, учитывающих одновременно критерии аккредитации и специфику деятельности организаций Роспотребнадзора, а также необходимость их быстрого реагирования и работы в правовом поле в случае

возникновения чрезвычайных ситуаций санитарно-эпидемиологического характера.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Файзуллаев У.Т., Шванке С.А. Роль органов инспекции в национальной инфраструктуре качества // Контроль качества продукции. – 2020. – № 5. – С. 31–36.
2. Saefulah S. Performance Management System Design of Inspection Bodies in Indonesia // Journal Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering. – 2021. – Vol. 13, № 3. – P. 378–393. DOI: 10.22441/oe.2021.v13.i3.035
3. Gaćinović R. On Importance of Judicial and Inspection Bodies in Formation of the State Security Function // KULTURA POLISA. – 2021. – Vol. 18, № 44. – P. 9–21. DOI: 10.51738/Kpolisa2021.18.1r.1.01
4. Øyri S.F., Bates D.W., Wiig S. Comparison of external evaluation policies and regulations for quality improvement and safety of health services in Norway and the United States // International Journal of Health Governance. – 2023. – Vol. 28, № 4. – P. 413–437. DOI: 10.1108/IJHG-06-2023-0065
5. Шалин А.П. Инспекция от «А» до «Я» // Методы оценки соответствия. – 2010. – № 3. – С. 8–13.
6. Богоявленский С.Б. Проблемы теоретического и нормативного определения понятий «катастрофа» и «катастрофический риск» // Тренды и управление. – 2019. – № 1. – С. 45–54. DOI: 10.7256/2454-0730.2019.1.19361
7. Савельев С.И., Полякова М.Ф., Коротков В.В. Модель управления Центром гигиены и эпидемиологии в современных условиях // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2015. – № 4 (265). – С. 53–56.
8. Панкратова Л.Д. Система управления проектными рисками // Московский экономический журнал. – 2020. – № 4. – С. 417–425. DOI: 10.24411/2413-046X-2020-10207
9. Рудченко В.М., Степанян М.П. Риски в управлении проектами // Цифровая наука. – 2020. – № 12. – С. 54–61.
10. Anastasopoulos G., McCullen P., Makam H. 'Risky Business': A Comprehensive Risk Analysis of an Accreditation Body // International Journal of Conformity Assessment. – 2023. – Vol. 2, № 1. DOI: 10.55459/ijca/v2i1/ga.pm.hm
11. Musostova D., Dzobelova V., Markaryan V. Project risk management // Reliability: Theory & Applications. – 2022. – Vol. 17, № 4 (70). – P. 549–552. DOI: 10.24412/1932-2321-2022-470-549-552
12. Аверкина С.Г., Воротникова Д.В. Оценка рисков проекта // International scientific review. – 2019. – № LXVII. – С. 57–59.
13. Голикова Ю.А., Тимофеева Ю.Г. Метод «Делфи» в идентификации и оценке рисков // Право, экономика и управление: актуальные вопросы: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Чебоксары, 13 декабря 2019 г. – Чебоксары: ООО «Издательский дом «Среда», 2019. – С. 94–96.
14. Delphi Methods In The Social And Health Sciences. Concepts, applications and case studies / ed. by M. Niederberger, O. Renn. – Wiesbaden: Springer Wiesbaden, 2023. – 307 p. DOI: 10.1007/978-3-658-38862-1
15. Unleashing expert judgment in assessment / K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, P.T. Freeman, C.B. Field // Global Environmental Change – Human and Policy Dimensions. – 2017. – Vol. 44. – P. 1–14. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2017.02.005
16. Surkova V. Analysis of the expert assessment features of the innovative activities risks of the agricultural enterprise // Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology. – 2023. – Vol. 8, № 1. – P. 127–131. DOI: 10.36887/2415-8453-2023-1-18
17. Куркина Е.П., Шувалова Д.Г. Оценка риска: экспертный метод // Проблемы науки. – 2017. – № 1 (14). – С. 63–69.
18. Duijm N.J. Recommendations on the use and design of risk matrices // Safety Science. – 2015. – Vol. 76. – P. 21–31. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.02.014
19. Card A.J. Patient safety: this is public health // J. Healthc. Risk Manag. – 2014. – Vol. 34, № 1. – P. 6–12. DOI: 10.1002/jhrm.21145
20. Управление рисками в здравоохранении: обзор литературы / Б.Д. Салахаева, Г.К. Нурбаева, М.А. Жумакаримов, С.Б. Аманов // Journal of Health Development. – 2020. – Т. 1, № 35. – С. 24–29. DOI: 10.32921/2225-9929-2020-1-35-24-29

*Анализ и оценка рисков для аккредитованных органов инспекции / С.П. Алексеенко, А.В. Моцкус, С.А. Мусиенко, Г.В. Карпущенко, М.С. Машдиева // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 44–52. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.04*



## Research article

## ANALYZING AND ASSESSING RISKS FOR ACCREDITED INSPECTION BODIES

S.P. Alekseenko<sup>1</sup>, A.V. Motskus<sup>2</sup>, S.A. Musienko<sup>2</sup>, G.V. Karpushchenko<sup>1</sup>, M.S. Mashdieva<sup>2</sup><sup>1</sup>Center of Hygiene and Epidemiology in Rostov region, 67 7th line St., Rostov-on-Don, 344019, Russian Federation<sup>2</sup>Rostov State Medical University, 29 Nakhichevansky Av., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation

The legislation of the Russian Federation stipulates the necessity for accreditation within the national system that encompasses organizations engaged by control (surveillance) bodies to accomplish inspections. Activities performed by inspection bodies have strategic importance and provide necessary support for surveillance over implementation of national development projects. It is especially relevant to provide uninterrupted functioning of accredited inspection bodies. Contemporary conditions require improvement of the existing legal and organizational approaches used by federal budgetary institutions in their activities as well as developing and implementing new ones.

Statistical data on the research object of the present study and relevant mathematical models are non-existent; given that, we applied an expert approach to risk identification using the Delphi method and expert judgment. The aim of this study was to analyze and assess risks in activities performed by an accredited inspection body and suggest ways to minimize them. Two groups took part in the study. The first one included experts (18 technical directors of three inspection bodies); the second group was made of analysts. The most competent specialists in the analyzed field of activity where risks would be identified were selected as experts. Their functional duties covered responsibility for risks associated with activities of an inspection body as well as for responses to them. To obtain ideas of analyzed risks, we used a questionnaire to collect experts' answers and to distribute them into specific categories for further analysis. A risk level was identified by using the risk analysis diagram. Any response measures were taken relying on this level. We created a register of risk levels and responses to them. A high risk was identified in activities performed by an inspection body as regards external influence of new changes in the legislation. Reformation of the accreditation system for organizations operating in the sphere of providing sanitary-epidemiological welfare may be a potential solution to the existing problem.

**Keywords:** accreditation, inspection body, hygiene and epidemiology center, risk analysis, risk assessment, Delphi method, risk analysis diagram, a register of risk levels.

## References

1. Fayzullaev U.T., Schwanke S.A. The role of inspection bodies in the national quality infrastructure. *Kontrol' kachestva produktsii*, 2020, no. 5, pp. 31–36 (in Russian).
2. Saefulah S. Performance Management System Design of Inspection Bodies in Indonesia. *Journal Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 378–393. DOI: 10.22441/oe.2021.v13.i3.035
3. Gaćinović R. On Importance of Judicial and Inspection Bodies in Formation of the State Security Function. *KULTURA POLISA*, 2021, vol. 18, no. 44, pp. 9–21. DOI: 10.51738/Kpolisa2021.18.1r.1.01
4. Øyri S.F., Bates D.W., Wiig S. Comparison of external evaluation policies and regulations for quality improvement and safety of health services in Norway and the United States. *International Journal of Health Governance*, 2023, vol. 28, no. 4, pp. 413–437. DOI: 10.1108/IJHG-06-2023-0065
5. Shalin A.P. Inspektsiya ot «A» do «Ya» [Inspection from "A" to "Z"]. *Metody otsenki sootvetstviya*, 2010, no. 3, pp. 8–13 (in Russian).
6. Bogoyavlenskiy S.B. The problems of theoretical and regulatory definition of the terms “disaster” and “disaster risk”. *Trendy i upravlenie*, 2019, no. 1, pp. 45–54. DOI: 10.7256/2454-0730.2019.1.19361 (in Russian).

© Alekseenko S.P., Motskus A.V., Musienko S.A., Karpushchenko G.V., Mashdieva M.S., 2024

**Sergey P. Alekseenko** – Candidate of Medical Sciences, Head of the Department of Sanitary and Epidemiological Inspection Activities (e-mail: pitan@donses.ru; tel.: +7 (863) 251-05-85; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0674-901X>).

**Anna V. Motskus** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Common Hygiene Department (e-mail: banna.motskus@gmail.com; tel.: +7 (863) 250-42-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4865-2123>).

**Sergey A. Musienko** – Candidate of Medical Sciences, acting as Head of the Department of Hygiene No. 2 (e-mail: gigiena2@rostgmu.ru; tel.: +7 (863) 201-44-36; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5624-4325>).

**Garry V. Karpushchenko** – Candidate of Medical Sciences, Chief Physician (e-mail: k\_gv@donses.ru; tel.: +7 (863) 201-44-36; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4672-8753>).

**Mayyagozel S. Mashdieva** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Hygiene No. 2 (e-mail: gigiena2@rostgmu.ru; tel.: +7 (863) 201-44-36; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8701-5189>).

7. Savelyev S.I., Polyakova M.F., Korotkov V.V. Management model Hygiene and Epidemiology Center in modern conditions. *ZNiSO*, 2015, no. 4 (265), pp. 53–56 (in Russian).
8. Pankratova L.D. Project risk management system. *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal*, 2020, no. 4, pp. 417–425. DOI: 10.24411/2413-046X-2020-10207 (in Russian).
9. Rudchenko V.M., Stepanian M.P. Project Management Risks. *Tsifrovaya nauka*, 2020, no. 12, pp. 54–61 (in Russian).
10. Anastasopoulos G., McCullen P., Makam H. 'Risky Business': A Comprehensive Risk Analysis of an Accreditation Body. *International Journal of Conformity Assessment*, 2014, vol. 2, no. 1. DOI: 10.55459/ijca/v2i1/ga.pm.hm
11. Musostova D., Dzobelova V., Markaryan V. Project risk management. *Reliability: Theory & Applications*, 2022, vol. 17, no. 4 (70), pp. 549–552. DOI: 10.24412/1932-2321-2022-470-549-552
12. Averkina S.G., Vorotnikova D.V. Risk assessment of the project. *International scientific review*, 2019, no. LXVII, pp. 57–59 (in Russian).
13. Golikova Yu.A., Timofeeva Yu.G. Metod "Delfi" v identifikatsii i otsenke riskov [Delphi method in risk identification and assessment]. *Pravo, ekonomika i upravlenie: aktual'nye voprosy: sbornik materialov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Cheboksary, «Sreda» Publ., 2019, pp. 94–96 (in Russian).
14. Delphi methods in the social and health sciences. In: M. Niederberger, O. Renn eds. Wiesbaden, Springer Wiesbaden Publ., 2023, 307 p. DOI: 10.1007/978-3-658-38862-1
15. Mach K.J., Mastrandrea M.D., Freeman P.T., Field C.B. Unleashing expert judgment in assessment. *Global Environmental Change – Human and Policy Dimensions*, 2017, vol. 44, pp. 1–14. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2017.02.005
16. Surkova V. Analysis of the expert assessment features of the innovative activities risks of the agricultural enterprise. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*, 2023, vol. 8, no. 1, pp. 127–131. DOI: 10.36887/2415-8453-2023-1-18
17. Kurkina E.P., Shuvalova D.G. Otsenka riska: ekspertnyi metod [Risk assessment: expert method]. *Problemy nauki*, 2017, no. 1 (14), pp. 63–69 (in Russian).
18. Duijm N.J. Recommendations on the use and design of risk matrices. *Safety Science*, 2015, vol. 76, pp. 21–31. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.02.014
19. Card A.J. Patient safety: this is public health. *J. Healthc. Risk Manag.*, 2014, vol. 34, no. 1, pp. 6–12. DOI: 10.1002/jhrm.21145
20. Salkhayeva B., Nurbayeva G., Zhumakarimov M., Amanov S. Health Risk Management: A Literature Review. *Journal of Health Development*, 2020, vol. 1, no. 35, pp. 24–29. DOI: 10.32921/2225-9929-2020-1-35-24-29 (in Russian).

*Alekseenko S.P., Motskus A.V., Musienko S.A., Karpushchenko G.V., Mashdieva M.S. Analyzing and assessing risks for accredited inspection bodies. Health Risk Analysis, 2024, no. 2, pp. 44–52. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.04.eng*

Получена: 11.04.2024

Одобрена: 22.05.2024

Принята к публикации: 20.06.2024



Научная статья

## МНОГОЛЕТНЯЯ ЭКСПОЗИЦИЯ НАСЕЛЕНИЯ ГЕРБИЦИДАМИ / ДИОКСИНОМ КАК ФАКТОР РИСКА ЗДОРОВЬЮ

Трин Хак Сау, Ле Ван Куанг

Институт тропической медицины, Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский и технологический центр, Вьетнам, район Кау Гиай, г. Ханой, ул. Нгуен Ван Хуен, 63

*Во время войны во Вьетнаме в 1961–1971 гг. американские военные распылили примерно 80 млн л гербицидов на территории Южного Вьетнама. Хранилища гербицидов были расположены в аэропортах Бьен Хоа, Да Нанг и Пху Кат; также эти районы считаются опасными по критерию остаточного диоксина. В связи с этим изучены структура заболеваемости и риски для здоровья 1039 участников исследования, проживающих около аэропортов Бьен Хоа, Да Нанг и Пху Кат (группа исследования), и 400 участников, проживающих в районе Сон Тра города Да Нанг на удалении от аэропорта Да Нанг (контрольная группа).*

*Результаты анализа показывают, что распространенность некоторых заболеваний, связанных с гербицидами / диоксином, довольно высока в группе исследования: гипертония – 23,0–33,6 % (в среднем 29,6 %), диабет – 3,50–13,0 % (в среднем 9,62 %), а также некоторых других, например, заболеваний желудка – 23,6–37 % (в среднем 26,3 %), суставов – 34,6–40,3 % (в среднем 37,8 %), ЛОР-органов – 9,5–17,4 % (в среднем 15,5 %), почек и мочевыделительной системы – 4,5–7,2 % (в среднем 6 %). Данные доли были от 1,5 до 9 раз выше в группе исследования, чем в контрольной. Участники, которые проживали и работали на территории вблизи аэропорта, были подвержены более высокому риску данных заболеваний. Структура заболеваемости по данным классам болезней зависит от пола и возраста в обеих группах, но решающим фактором остается экспозиция гербицидами / диоксином. Так, экспозиция гербицидами / диоксином изменила клиническую картину заболевания и привела к появлению более явных симптомов заболеваний у людей, проживающих на территориях, где ранее хранились гербициды / диоксин.*

**Ключевые слова:** гербициды, диоксин, горячая точка, заболевания, риски здоровью, Да Нанг, Бьен Хоа, Пху Кат.

Во время войны во Вьетнаме, за период с 1961 по 1971 г., американские военные применили и распылили примерно 80 млн л гербицидов, включая «эйджент оранж», «эйджент уайт», «эйджент грин», «эйджент пинк», и т. д. Среди всех гербицидов наиболее часто применялся агент «Оранж» (61 %), который содержал примерно 366 кг диоксина [1, 2]. Гербициды были распылены на территории площадью примерно 2,63 млн гектаров, что составляет 15,2 % всей территории Южного Вьетнама. В аэропортах Бьен Хоа, Да Нанг и Пху Кат располагались американские военные и там же во время войны хранились гербициды и диоксин [3]. Агент «Оранж» / диоксин способен наносить разнообразный и комплексный ущерб организму человека и вызывать

такие заболевания, как рак, повреждение кожи, болезни печени, щитовидной железы, диабет и гипертонию; он токсичен для органов дыхания, кровообращения, пищеварения, эндокринной и нервной систем, а также может вызывать мутации в генах и хромосомах, приводя к врожденным дефектам и репродуктивной дисфункции [4, 5].

Лица, проживающие вблизи аэропортов Бьен Хоа, Да Нанг и Пху Кат, подвергаются риску экспозиции диоксином [3, 6]. В работах М. Nishijo et al. [7] показано, что концентрации диоксина в грудном молоке матерей, проживающих в районах Тханг Кхе и Сон Тра города Да Нанг, находятся в диапазоне 3,73–72,3 пг токсического эквивалента (TEQ)/г липида, а средний уровень составляет 14,2 пг TEQ/г

© Трин Хак Сау, Ле Ван Куанг, 2024

**Трин Хак Сау** – доктор химических наук, директор (e-mail: sau\_tk@yahoo.com; тел.: +84 912-206-942; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5024-9936>).

**Ле Ван Куанг** – доктор медицинских наук (e-mail: lequang217@gmail.com; тел.: +84 813-262-933; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5286-3940>).



липоида. Концентрации диоксина в грудном молоке были выше на тех территориях, где хранились или расплывались гербициды, чем на условно чистых территориях [8–10]. Средний TEQ в молоке матерей, проживающих в районах хранения диоксина (Пху Кат, Тханг Кхе и Сон Тра, 2008–2009), на территориях, где расплывался токсин (Кам Ло в провинции Куанг Три, 2002–2003), и на территориях, где отсутствовало загрязнение (Кам Ксюен в провинции Ха Тинх, 2002–2003, и Ким Банг в провинции Ха Нам, 2008), составил 14,1; 10,9 и 4,09 пг/г липоида соответственно для первой беременности и 11,5; 7,56 и 2,84 пг/г липоида для второй и последующих беременностей [11].

T.T. Tuyet-Hanh et al. [12] оценили среднюю суточную дозу (ADD) диоксина в пищевых продуктах местного производства в районе Тханг Кхе города Да Нанг; она составила от 27 до 148 пг TEQ/кг массы тела в день (м.т./день), что существенно превышает допустимую суточную дозу (TDI) для диоксина (от 1 до 4 пг TEQ/кг м.т./день), рекомендованную ВОЗ [13]. Оценка риска здоровью, вызванного экспозицией аэрогенным диоксином, показала, что для людей, проживающих вблизи аэропорта Да Нанг, и рабочих, занятых на складах, суточная доза при ингаляционном воздействии на территории к северо-западу от аэропорта находилась в диапазоне 0,007–0,052 пг TEQ/кг м.т./день. К северу от аэропорта среднесуточные дозы достигали 0,006–0,129 пг TEQ/кг м.т./день. На территории, где в прошлом смешивался и загружался агент «Оранжевый», среднесуточные дозы составляли 0,16–0,21 пг TEQ/кг м.т./день. Следует отметить, что максимальный уровень воздействия, равный 0,61–0,82 пг TEQ/кг м.т./день, более чем на 10 % превышает допустимую суточную дозу (0,1–0,4 пг TEQ/кг м.т./день) при ингаляционном воздействии [14].

**Цель исследования** – изучение структуры заболеваемости и рисков для здоровья населения, проживающего вблизи аэропортов Да Нанг, Бьен Хоа и Пху Кат (далее – группа исследования), и для населения, проживающего в районе Сон Тра на удалении от аэропорта Да Нанг (далее – контрольная группа).

**Материалы и методы.** В группу исследования были включены участники, проживающие на трех территориях: Бьен Хоа (БХ), Тханг Кхе-Да Нанг (ТК) и Пху Кат (ПК). Всего 1039 человек, в настоящее время проживающих на территориях вблизи аэропортов Да Нанг, Бьен Хоа и Пху Кат и мест, где армия США в прошлом хранила гербициды / диоксин. Контрольная группа состояла из 400 человек, проживающих в районе Сон Тра города Да Нанг.

Участники исследования отбирались по критериям места проживания, которое должно было находиться на одной из выбранных территорий наблюдения, и времени проживания на данной территории, которое должно было составлять не менее пяти лет. Возраст участников исследования варьировался от 18 до 69 лет. При включении в исследо-

вание предпочтение отдавалось женщинам, поскольку одной из целей было изучение репродуктивного здоровья, а также потому, что женщины, как правило, склонны давать более распространенные ответы о заболеваниях членов семьи.

Территория БХ была исследована в июле 2020 г. в рамках четырех административных районов города Бьен Хоа: Тан Фонг, Труг Дунг, Куанг Винх и Буу Лонг.

Территория ТК была исследована в марте 2021 г. в рамках четырех административных районов провинции Тханг Кхе: Хоа Кхе, Ан Кхе, Чинх Жиан и Тхак Жиан.

Территория ПК была исследована в апреле 2022 г. в рамках двух административных районов: Кат Тан в Пху Кат и Нхон Тханг города Ан Нхон, провинция Бин Дин.

Территория проживания контрольной группы была исследована в октябре 2021 г. в рамках трех административных районов: Ан Хай Донг, Ан Ха Тай и Пхуок Май района Сон Тра.

Данное исследование является поперечным, описательным, биомедицинским (при помощи анкетирования и личных интервью изучались существующие риски экспозиции диоксином, состояние здоровья, а также некоторые заболевания и нарушения здоровья, которые могут быть вызваны экспозицией диоксином). Для анализа данных исследования применялись статистические методы.

Анкета состояла из 85 вопросов для сбора общих данных, данных о состоянии здоровья, анамнезе, акушерском анамнезе, экспозиции боевыми токсинами, рационе и других факторах риска, которые могут быть связаны с экспозицией гербицидами / диоксином.

Данные были обработаны при помощи программы Excel. Статистический анализ проводился в программе IBM SPSS Statistics 20 согласно традиционным методам биомедицинской статистики. Результаты представлены как: среднее ( $\bar{X}$ ), стандартное отклонение ( $SD$ ), доля (%); статистическая значимость  $p < 0,05$ .

Согласно данным, приведенным на рис. 1, доля участников в возрасте 45–69 лет была сходна во всех подгруппах и группах исследования: люди данного возраста составляли большую часть как группы исследования (ГИ), так и группы контроля (ГК) (ГИ: 73,5 % и ГК: 68,8 %), что полностью совпадает с критериями отбора участников. Между долями участников одной и той же возрастной группы (45–69 лет или 18–44 лет) не было статистически значимых различий в обеих группах исследования. Кроме того, сходным был и средний возраст участников в ГИ ( $51,95 \pm 11,58$  г.) и ГК ( $50,47 \pm 12,21$  г.), и между группами также не было статистически значимых различий по данному критерию. Таким образом, распределение участников по возрасту гарантирует сопоставимость ГИ и ГК.

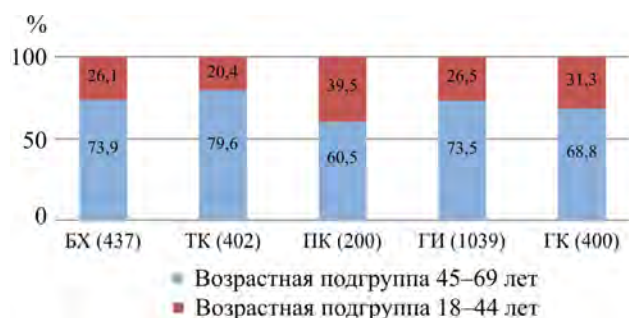


Рис. 1. Распределение участников исследования по возрасту, %



Рис. 2. Распределение участников исследования по полу, %

Соотношение полов, как показано на рис. 2, соответствует критериям отбора участников исследования, поскольку именно женскому полу был отдан приоритет, и поэтому доля участниц женского пола выше, чем доля участников мужского пола. Доля женщин в каждой группе (67,5–69,8 %) статистически значимо превышает долю мужчин (30,2–32,5 %),  $p = 0,000$ . Доли женщин в ГИ и ГК являются схожими: 69,7 и 67,5 % соответственно.

В предыдущих исследованиях была установлена взаимосвязь между некоторыми заболеваниями и возрастом и полом [15–17]. В рамках данного исследования изучалась и сравнивалась структура заболеваемости по полу и возрасту в группах исследования и контроля. В фокусе внимания находились заболевания систем и органов, наиболее подверженных токсическому воздействию гербицидов / диоксина, включая печень, нервную систему, иммунную систему, гормональную систему, органы дыхания, легкие, и т. д. [5, 18].

Гипертония и сахарный диабет являются основными заболеваниями, вызываемыми экспозицией диоксином, согласно рекомендациям Национальной академии наук, машиностроения и медицины от 2018 г.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты анализа, приведенные на рис. 3, показывают высокие уровни распространенности таких заболеваний, как гипертония, заболевания желудка, заболевания суставов, ЛОР-заболевания, а также категории прочих заболеваний (псориаз, повышенные уровни липидов в крови, и т. д.). Уровни заболеваемости по данным нозологиям статистически значимо превышают таковые по прочим классам заболеваний. Уровни распространенности большинства заболеваний (за исключением заболеваний поджелудочной железы, щитовидной железы и надпочечников) были статистически значимо выше в ГИ, по сравнению с ГК.

Согласно результатам, приведенным на рис. 3, распространенность гипертонии в ГИ составляет 23,0–33,6 % (среднее значение – 29,6 %); диабета – 3,50–13,0 % (среднее значение – 9,62 %). Средний уровень распространенности гипертонии превышает среднее значение данного показателя для Вьетнама в целом в 1,57 раза; диабета – в 2,35 раза (18,9 и 4,1 % соответственно) [19]. В частности, более высокий уровень распространенности гипертонии, по сравнению с контрольными данными, был обнаружен во всех трех подгруппах ГИ: БХ и ТК (19 и 6,0 % соответственно). Заболеваемость по всем

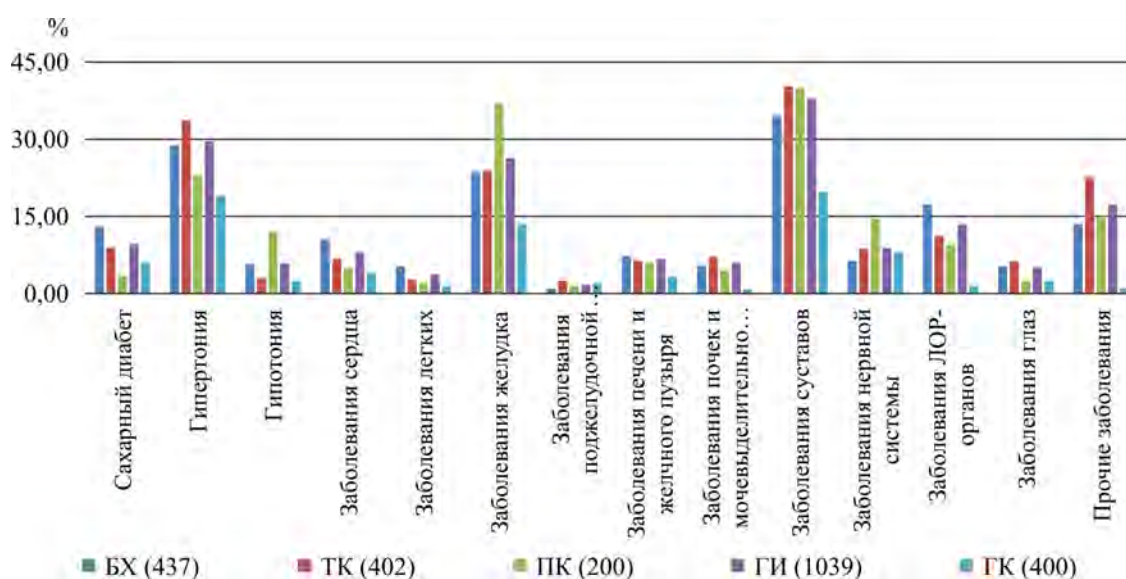


Рис. 3. Структура заболеваемости (с указанием вклада в %) в ГИ и ГК

анализируемым классам болезней была в 1,1–17,3 раза выше в ГИ, чем в ГК, во всех возрастных группах от 18 до 69 лет. Таким образом, результаты нашего исследования указывают на более высокие риски для здоровья населения, экспонированного гербицидами / диоксином и / или проживающего и работающего вблизи территорий, загрязненных высокими концентрациями гербицидов / диоксида.

Согласно результатам, приведенным на рис. 4, в возрастной подгруппе 45–69 лет ГИ были установлены следующие уровни распространенности заболеваний: диабет – 4,96–16,4 % (в среднем 12,3 %); гипертония – 28,9–40,9 % (в среднем 37,3 %); заболевания желудка: 25,1–38,8 % (в среднем 27,6 %); заболевания суставов – 39,9–52,1 % (в среднем 44,5 %); заболевания ЛОР-органов – 7,44–16,7 % (в среднем 13,0 %); прочие заболевания – 13,2–22,8 % (в среднем 18,2 %). Эти уровни статистически значимо превышали таковые, установленные в ГК (8,36; 26,2; 14,6; 26,2; 1,82 и 1,09 % соответственно). Распространенность данных заболеваний в целом в возрастной подгруппе 45–69 лет ГИ превышала значения, установленные для ГК, в 1,4–16,7 раза.

Структура заболеваемости в возрастной подгруппе 18–44 лет показывает следующие обнаруженные уровни распространенности некоторых за-

болеваний в ГИ: диабет – 1,22–3,51 % (в среднем 2,18 %); гипертония – 4,88–13,9 % (в среднем 8,0 %); заболевания желудка – 15,9–34,2 % (в среднем 22,6 %); заболевания суставов – 17,1–21,5 % (в среднем 19,3 %); заболевания ЛОР-органов – 11,0–19,3 % (в среднем 14,9 %); прочие заболевания – 7,89–22,0 % (в среднем 14,9 %) (рис. 5). Все эти уровни статистически значимо превышают показатели ГК (0,80; 3,20; 11,2; 5,60; 0,80 и 0,80 % соответственно). Распространенность данных заболеваний в целом в возрастной подгруппе 18–44 лет ГИ превышала значения, установленные для ГК, в 2,7–18,6 раза.

Как показано на рис. 6, распространенность диабета и гипертонии в возрастной подгруппе 45–69 лет ГИ (12,3 и 37,3 % соответственно) и ГК (8,36 и 26,2 % соответственно) выше, чем в среднем во Вьетнаме в 2015 г. (4,1 и 20,3 % соответственно) [19]. И наоборот, распространенность данных заболеваний в возрастной подгруппе 18–44 лет ГИ (2,18 и 8,0 % соответственно) и ГК (0,8 и 3,2 % соответственно) была ниже, чем в целом по стране. Таким образом, результаты исследования, приведенные на рис. 3–5, указывают на более высокие риски диабета и гипертонии для экспонированного населения в возрасте 45–69 лет, по сравнению с таковыми для населения в возрасте 18–44 лет.

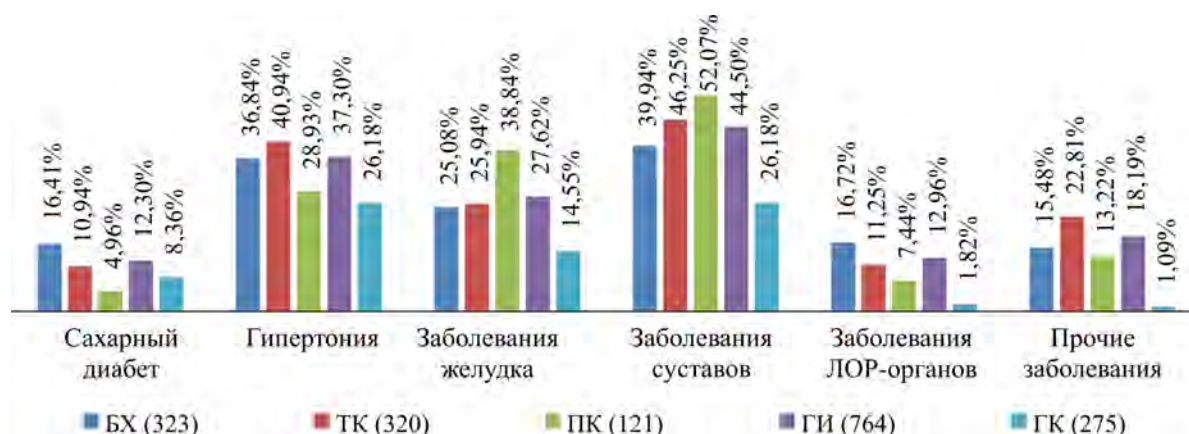


Рис. 4. Структура заболеваемости в возрастной подгруппе 45–69 лет

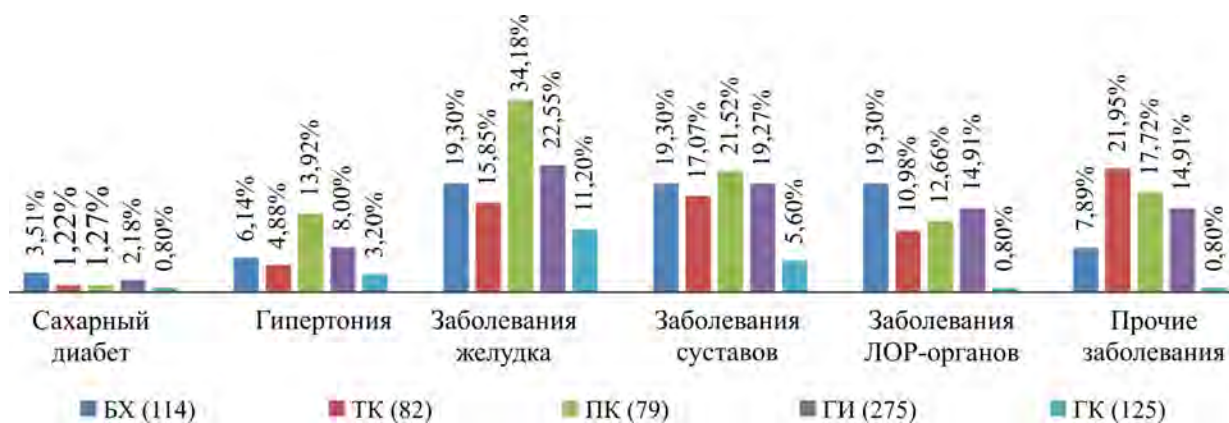


Рис. 5. Структура заболеваемости в возрастной подгруппе 18–44 лет



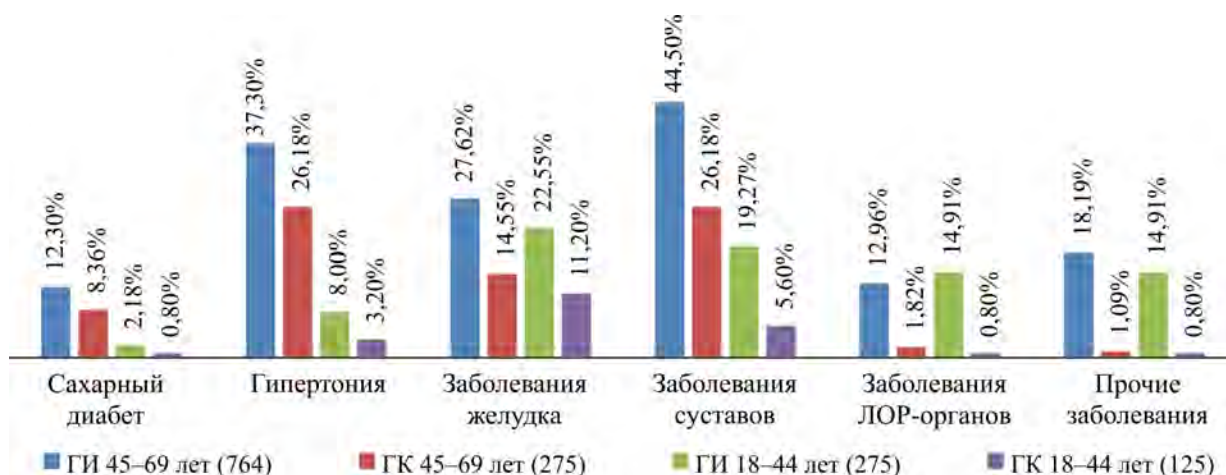


Рис. 6. Сравнение структуры заболеваемости между возрастными подгруппами 18–44 и 45–69 лет

Участники исследования, как в ГИ, так и в ГК, чаще болели диабетом и гипертензией в старшем возрасте; распространенность данных заболеваний была выше на территориях, расположенных вблизи областей с загрязнением диоксином. В особенности наиболее низкие уровни заболеваемости диабетом, гипертензией и болезнями суставов были обнаружены в возрастной подгруппе 18–44 лет в ГК, где они составили 0,8; 3,2 и 5,6 % соответственно. В той же самой возрастной подгруппе ГИ данные уровни были выше в 2,73; 2,50 и 3,44 раза соответственно (2,18; 8,0 и 19,3 % соответственно). Заболеваемость была выше минимального обнаруженного уровня в возрастной подгруппе 45–69 лет ГК в 3,83; 3,27; 1,36 раза соответственно (8,36; 26,2 и 26,2 % соответственно), а наивысшие показатели были обнаружены в возрастной подгруппе 45–69 лет ГИ – в 1,47; 1,42 и 1,70 раза выше минимального обнаруженного уровня (12,3; 37,3 и 44,5 % соответственно).

Как показано на рис. 7 некоторые характеристики заболеваемости являются сходными в ГИ и ГК. Например, доли мужчин с диабетом (12,9 и 10,8 % соответственно) и гипертензией (42,9 и 26,9 % соответственно) были выше, чем доли женщин с теми же заболеваниями в той же группе (диабет: 12,0 и 7,14 % соответственно, гипертензия: 34,7 и

25,8 % соответственно). И наоборот, в обеих группах более высокая распространенность некоторых заболеваний была обнаружена у женщин: заболевания желудка (30,5 и 17,6 % соответственно) и суставов (47,1 и 32,4 % соответственно); для сравнения: распространенность среди мужчин составила 20,8 и 8,6 % соответственно для заболеваний желудка и 38,8 и 14 % соответственно для заболеваний суставов. Также на рис. 7 показано, что распространенность всех шести классов заболеваний была выше в ГИ как среди мужчин, так и среди женщин, чем аналогичные данные в группе сравнения: от 1,2 до 7,17 раза для мужчин и 1,34–35,4 раза для женщин.

В возрастной подгруппе 18–44 лет ГИ уровни заболеваемости шестью типичными классами болезней как среди мужчин, так и среди женщин (диабет: 5,48 и 0,99 %, гипертензия: 11 и 6,93 %, заболевания желудка: 23,3 и 22,3 %, заболевания суставов: 16,4 и 14,9 %, заболевания ЛОР-органов: 15,1 и 14,9 %, прочие заболевания: 15,1 и 14,9 % соответственно) были выше, чем в ГК (диабет: 2,7 и 0 %, гипертензия: 5,41 и 2,27 %, заболевания желудка: 8,11 и 12,5 %, заболевания суставов: 5,41 и 5,68 %, заболевания ЛОР-органов: 2,7 и 0 %, прочие заболевания: 0 и 1,14 %). Разница составила от 2,03 до 5,58 раза для мужчин и от 1,78 до 13,1 раза для женщин (рис. 8).

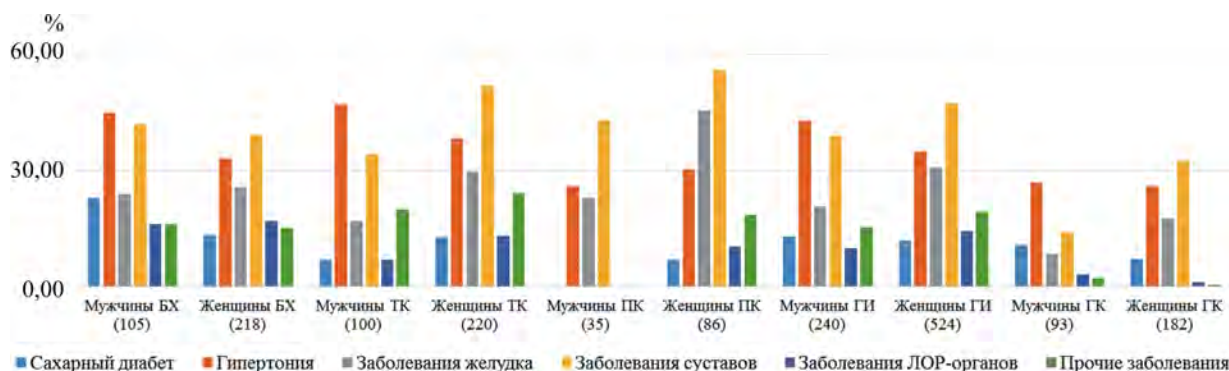


Рис. 7. Сравнение уровней заболеваемости среди мужчин и женщин в возрасте 45–69 лет

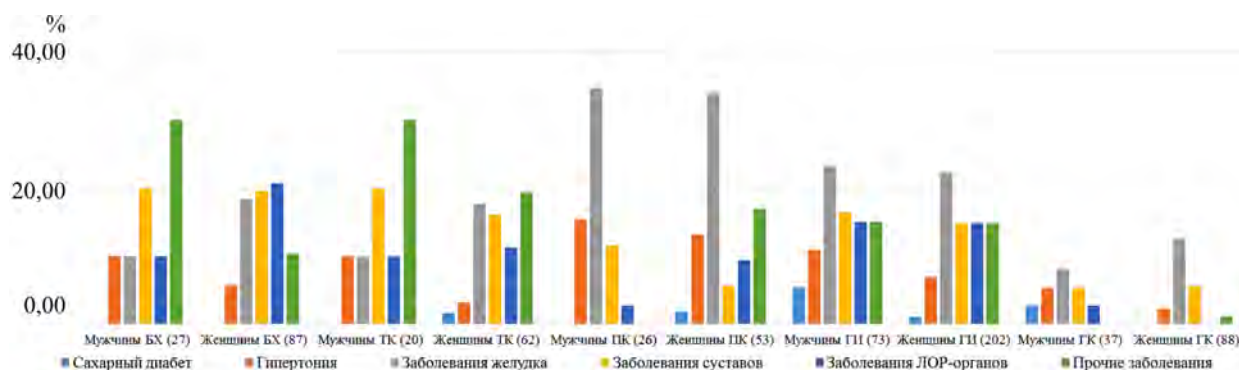


Рис. 8. Сравнение уровней заболеваемости среди мужчин и женщин в возрасте 18–44 лет

В ГИ уровни заболеваемости по всем шести классам болезней были от 1,01 до 5,53 раза выше среди мужчин в возрасте от 18 до 44 лет, чем среди их ровесниц. В ГК схожие результаты были получены для возрастной группы 45–69 лет, где заболеваемость мужчин диабетом (2,7 %) и гипертонией (5,41 %) была выше, чем у женщин (0 и 2,27 % соответственно); и наоборот, распространенность заболеваний желудка (8,11 %) и суставов (5,41 %) была ниже среди мужчин, чем среди женщин (12,5 и 5,68 % соответственно).

Таким образом, результаты статистического анализа, приведенные на рис. 7 и 8, говорят о том, что экспозиция гербицидами / диоксином населения, проживающего и / или работающего вблизи трех аэропортов Бьен Хоа, Да Нанг и Пху Кат, являлась основным фактором повышенного риска заболеваемости в ГИ.

Для дальнейшего прояснения влияния экспозиции диоксином на структуру заболеваемости в анализируемых группах население, подвергающееся экспозиции гербицидами / диоксином, было разделено на подгруппы, одна из которых была подвержена воздействию обоих факторов (ЭД – подгруппа экспозиции диоксином), а вторая была экспонирована только гербицидами (БЭД – подгруппа без экспозиции диоксином). Далее, поскольку подгруппа ЭД состояла в основном из людей в возрасте 45–69 лет, в составе подгруппы БЭД была отдельно выделена подгруппа людей того же возраста. Результаты сравнения данных подгрупп приведены в таблице.

Как видно из данных таблицы, экспозиция диоксином оказывает значительное влияние на уровень рисков для здоровья. Согласно рекомендациям Национальной академии наук [20], такие заболевания, как диабет и гипертония, считаются связанными с воздействием Агента «Оранжевый» / диоксином, а распространенность таких классов болезней, как заболевания желудка, суставов и прочие заболевания, оказалась статистически значимо ( $p < 0,05$ ) выше в подгруппе ЭД, чем в подгруппах БЭД и БЭД 45–69 лет как в ГИ, так и в ГК. Для заболеваний ЛОР-органов не было обнаружено статистически значимых различий между подгруппами ЭД и БЭД.

В ГИ распространенность диабета, гипертонии и заболеваний суставов была от 1,67 до 2,74 раза

выше в подгруппе ЭД, чем в подгруппе БЭД, а также в 1,45–2,13 раза выше, чем в подгруппе БЭД в возрасте 45–69 лет.

Схожие различия были зафиксированы в ГК, где распространенность всех шести анализируемых классов заболеваний была от 2,31 до 18,7 раза выше в подгруппе ЭД, чем в подгруппе БЭД, а также в 1,67–19,2 раза выше, по сравнению с соответствующими данными подгруппы БЭД в возрасте 45–69 лет. Таким образом, экспозиция гербицидами / диоксином создавала повышенные риски для здоровья в подгруппе ЭД.

С целью выявления влияния продолжительности проживания вблизи трех аэропортов Бьен Хоа, Да Нанг и Пху Кат на территориях, где ранее складировались или распылялись гербициды / диоксин, участников исследования разделили на три подгруппы с длительностью проживания от 5 до 25 лет, от 25 до 45 лет и свыше 45 лет.

Как показано на рис. 9, распространенность всех шести анализируемых классов болезней была выше во всех подгруппах ГИ, чем в ГК. В особенности в подгруппе с длительностью проживания от 5 до 25 лет она была в 2,0–23,5 раза выше; от 25 до 45 лет – в 1,63–21,3 раз выше; более 45 лет – в 1,14–11,9 раза выше.

В ГИ уровень заболеваемости гипертонией, болезнями желудка и суставов в подгруппе с длительностью проживания 25–45 лет был в 1,09–1,27 раза выше, чем в подгруппе с длительностью проживания от 5 до 25 лет; также он был в 1,23–1,79 раза выше в подгруппе с длительностью проживания более 45 лет.

Уровень заболеваемости всеми шестью анализируемыми классами болезней был статистически значимо выше в ГИ, чем в ГК. В особенности в подгруппе с длительностью проживания 5–25 лет этот уровень был в 1,29–1,9 раза выше; 25–45 лет – в 1,23–12,7 раза выше; свыше 45 лет – в 1,14–11,9 раза выше. В ГИ заболеваемость гипертонией, болезнями желудка и суставов была в 1,13 раза выше в подгруппе с длительностью проживания 25–45 лет, по сравнению с таковой в подгруппе с длительностью проживания 5–25 лет; в подгруппе с длительностью проживания свыше 45 лет данные показатели превышали уровни подгруппы 5–25 лет в 1,15–1,35 раза (рис. 10).



Структура заболеваемости согласно факторам экспозиции диоксином, %

Заболевание	ЭД		БЭД		БЭД, возраст 45–69 лет	
	исследование, n = 92	контроль, n = 7	исследование, n = 947	контроль, n = 393	исследование, n = 682	контроль, n = 269
Диабет	22,8	42,9	8,34	5,34	10,7	7,43
Гипертония	48,9	42,9	27,7	18,6	34,8	25,7
Заболевания желудка	27,2	42,9	26,2	13	27,4	13,8
Заболевания суставов	59,8	57,1	35,7	19,1	41,2	25,3
Заболевания ЛОР-органов	14,1	0	13,4	1,53	12,8	1,86
Прочие заболевания	20,7	14,3	17,0	0,76	17,7	0,74



Рис. 9. Структура заболеваемости в разрезе длительности проживания в опасной зоне



Рис. 10. Структура заболеваемости в возрастной подгруппе 45–69 лет в разрезе длительности проживания

**Выводы.** Уровни заболеваемости в группе исследования (как в целом, так и по возрастным подгруппам 18–44 и 45–69 лет) были выше, чем в контрольной группе. В рамках данного исследования выявлены приоритетные классы болезней с более высокими уровнями заболеваемости, включая диабет, гипертонию, болезни опорно-двигательного аппарата, заболевания ЛОР-органов.

Уровни заболеваемости по шести приоритетным классам болезней были в 1,1–2,7 раза выше среди населения, экспонированного агентом «Оранжевый», чем среди неэкспонированного населения в группе исследования, и в 2,3–18,7 раза выше, чем в контрольной группе.

Чем выше была длительность периода проживания и работы на территориях вблизи аэропортов Бьен

Хоа, Да Нанг и Пху Кат, тем выше был риск заболеваний: уровень заболеваемости в группе исследования в подгруппе с длительностью проживания 25–45 лет был в 1,1–1,3 раза выше, а в подгруппе с длительностью проживания 45 лет и более – в 1,2–1,8 раза выше, чем таковой в подгруппе с длительностью проживания 5–25 лет. В каждой из этих подгрупп в группе исследования уровни заболеваемости были выше, чем в контрольной группе: в 2,0–23,5 раза в подгруппе с длительностью проживания 5–25 лет, в 1,6–21,3 раза – в подгруппе 25–45 лет и в 1,1–11,9 раза выше в подгруппе с длительностью проживания на опасной территории более 45 лет.

Уровень заболеваемости населения в группах исследования и контрольной зависит от длительности проживания, пола и возраста. Однако основным

фактором, определяющим различия в структуре заболеваемости, является экспозиция гербицидами / диоксином на территории проживания. Экспозиция гербицидами / диоксином, остатки которых загрязняют территории вблизи исследуемых аэропортов в течение последних 50 лет, является одним из вредных факторов, оказывающих влияние на структуру заболеваемости в группе исследования, а также приводящих к подъему уровней заболеваемости некоторыми нозологиями.

**Одобрение комитета по этике и согласие на участие в исследовании.** Данное исследование было одобрено Сове-

том по этике биомедицинских исследований Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра (Код: 18/2020/VREC, Сертификат одобрения № 1987/CN-TTNDVN, выдан 01.07.2020) и осуществлялось под соответствующим контролем.

**Финансирование.** Исследование было профинансировано в рамках гранта Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра под номером М-3.3.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов в связи с настоящим исследованием, а также авторством и / или публикацией данной статьи.

### Список литературы

1. The extent and patterns of usage of Agent Orange and other herbicides in Vietnam / J.M. Stellman, S.D. Stellman, R. Christian, T. Weber, C. Tomasallo // *Nature*. – 2003. – Vol. 422. – P. 681–687. DOI: 10.1038/nature01537
2. Young A.L. The History, Use, Disposition and Environmental Fate of Agent Orange. – NY: Springer New York, 2009. – 339 p. DOI: 10.1007/978-0-387-87486-9
3. Predictors for dioxin accumulation in residents living in Da Nang and Bien Hoa, Vietnam, many years after Agent Orange use / D.T. Pham, H.M. Nguyen, T.G. Boivin, A. Zajacova, S.V. Huzurbazar, H.L. Bergman // *Chemosphere*. – 2015. – Vol. 118. – P. 277–283. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.09.064
4. Veterans and Agent Orange: Update 2014 / Committee to Review the Health Effects in Vietnam Veterans of Exposure to Herbicides (Tenth Biennial Update); Board on the Health of Select Populations; Institute of Medicine; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. – Washington, DC: National Academies Press, 2016. – 1114 p. DOI: 10.17226/21845
5. The Relationship of Dioxin Levels in Serum of 9-Year-Old Vietnamese Children and Their Mothers' Breast Milk / H.D. Manh, T. Kido, T. Takasuga, M. Yamashita, L.M. Giang, H. Nakagawa // *Toxics*. – 2022. – Vol. 10, № 4. – P. 155. DOI: 10.3390/toxics10040155
6. Nishijo M. Dioxin and Dioxin-like Compounds and Human Health // *Toxics*. – 2023. – Vol. 11, № 6. – P. 512. DOI: 10.3390/toxics11060512
7. Impact of perinatal dioxin exposure on infant growth: a cross-sectional and longitudinal studies in dioxin-contaminated areas in Vietnam / M. Nishijo, P.T. Tai, H. Nakagawa, S. Maruzeni, N.T.N. Anh, H.V. Luong, T.H. Anh, R. Honda [et al.] // *PLoS One*. – 2012. – Vol. 7, № 7. – P. e40273. DOI: 10.1371/journal.pone.0040273
8. 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin in breast milk increases autistic traits of 3-year-old children in Vietnam / M. Nishijo, T.T. Pham, A.T.N. Nguyen, N.N. Tran, H. Nakagawa, L.V. Hoang, A.H. Tran, Y. Morikawa [et al.] // *Mol. Psychiatry*. – 2014. – Vol. 19, № 11. – P. 1220–1226. DOI: 10.1038/mp.2014.18
9. Impacts of Perinatal Dioxin Exposure on Motor Coordination and Higher Cognitive Development in Vietnamese Preschool Children: A Five-Year Follow-Up / N.N. Tran, T.T. Pham, K. Ozawa, M. Nishijo, A.T.N. Nguyen, T.Q. Tran, L.V. Hoang, A.H. Tran [et al.] // *PLoS One*. – 2016. – Vol. 11, № 1. – P. e0147655. DOI: 10.1371/journal.pone.0147655
10. Dwernychuk L.W. Dioxin hot spots in Vietnam // *Chemosphere*. – 2005. – Vol. 60, № 7. – P. 998–999. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.01.052
11. Dioxin concentrations in breast milk of Vietnamese nursing mothers: a survey four decades after the herbicide spraying / P.T. Tai, M. Nishijo, T. Kido, H. Nakagawa, S. Maruzeni, R. Naganuma, N.T.N. Anh, Y. Morikawa [et al.] // *Environ. Sci. Technol.* – 2011. – Vol. 45, № 15. – P. 6625–6632. DOI: 10.1021/es201666d
12. Environmental health risk assessment of dioxin in foods at the two most severe dioxin hot spots in Vietnam / T.T. Tuyet-Hanh, N.H. Minh, L. Vu-Anh, M. Dunne, L.-M. Toms, T. Tenkate, M.-H.N. Thi, F. Harden // *Int. J. Hyg. Environ. Health*. – 2015. – Vol. 218, № 5. – P. 471–478. DOI: 10.1016/j.ijheh.2015.03.014
13. World Health Organization. Assessment of the health risks of dioxin: re-evaluation of the Tolerable Daily Intake (TDI). Executive summary. – Geneva: WHO European Centre for Environment and Health, International Programme on Chemical Safety, 1998. – 28 p.
14. Ambient air monitoring around the dioxin remediation site in Da Nang, Vietnam, using passive air samplers / T.K. Sau, N.X. Truong, T.T.T. Hanh, B. Le Hung, N.D. Thang, T. Le Lan Anh // *Environ. Monit. Assess.* – 2021. – Vol. 193, № 7. – P. 434. DOI: 10.1007/s10661-021-09223-7
15. Choi H.M., Kim H.C., Kang D.R. Sex differences in hypertension prevalence and control: Analysis of the 2010–2014 Korea National Health and Nutrition Examination Survey // *PLoS One*. – 2017. – Vol. 12, № 5. – P. e0178334. DOI: 10.1371/journal.pone.0178334
16. Díaz A., Beleña Á., Zueco J. The Role of Age and Gender in Perceived Vulnerability to Infectious Diseases // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – 2020. – Vol. 17, № 2. – P. 485. DOI: 10.3390/ijerph17020485
17. Higher Prevalence of Type 2 Diabetes in Men Than in Women Is Associated With Differences in Visceral Fat Mass / A. Nordström, J. Hadrévi, T. Olsson, P.W. Franks, P. Nordström // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* – 2016. – Vol. 101, № 10. – P. 3740–3746. DOI: 10.1210/jc.2016-1915
18. The American people's dioxin report: technical support document. – Falls Church, VA: Center for Health Environment and Justice, 1999.

19. Announcing the results of the national investigation of risk factors for non-communicable disease in 2015 [Электронный ресурс] // Vietnam General Department of Preventive Medicine. – 2015. – URL: <https://vncdc.gov.vn/cong-bo-ket-qua-dieu-tra-quoc-gia-yeu-to-nguy-co-benh-khong-lay-nhiem-nam-2015-nd14421.html> (дата обращения: 09.02.2024).

20. Veterans and Agent Orange: Update 11 (2018) / National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine; Health and Medicine Division; Board on Population Health and Public Health Practice; Committee to Review the Health Effects in Vietnam Veterans of Exposure to Herbicides (Eleventh Biennial Update). – Washington, DC: National Academies Press, 2018. DOI: 10.17226/25137

Трин Хак Сау, Ле Ван Куанг. Многолетняя экспозиция населения гербицидами / диоксином как фактор риска здоровью // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 53–62. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.05

UDC 614.7

DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.05.eng

Read  
online



Research article

## STRUCTURE OF SOME DISEASES AND HEALTH RISKS FOR PEOPLE RESIDING IN SURROUNDING AREAS PREVIOUSLY CONTAINED HERBICIDES/DIOXIN

**Trinh Khac Sau, Le Van Quang**

Institute of Tropical Medicine, Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center,  
63 Nguyen Van Huyen St., Cau Giay district, Hanoi, Vietnam

*During the war in Vietnam from 1961–1971, the US military used and sprayed nearly 80 million liters of herbicides in South Vietnam. Bien Hoa, Da Nang, and Phu Cat airports are herbicides repositories and hot spots for dioxin residues. The aim of this study was to examine the structure of some diseases and health risks of 1039 subjects residing around Da Nang, Bien Hoa, and Phu Cat airports (the  $\Sigma SG$  – study group) and 400 subjects residing in Son Tra district in Da Nang city – far from Da Nang airport (the ST – control group).*

*The analysis results show that the prevalence of some relevant diseases related to herbicides/dioxin in the  $\Sigma SG$  group has a high percentage such as hypertension: 23.0–33.6 % (mean: 29.6 %), diabetes: 3.50–13.0 % (mean: 9.62 %) and other diseases: stomach: 23.6–37 % (mean: 26.3 %), joints: 34.6–40.3 % (mean: 37.8 %), ear-nose and throat: 9.5–17.4 % (mean: 15.5 %), kidney-urinary system: 4.5–7.2 % (mean: 6 %). These values were 1.5 to 9 times higher in the  $\Sigma SG$  group than in the ST group. The subjects who resided and worked around airports had elevated risks of the foregoing diseases. The structure of these diseases in both the  $\Sigma SG$  and the ST groups depends on sex and age, but the decisive factor depends on herbicides/dioxin exposure status. Thus, exposure to herbicides/dioxin has changed the disease pattern and increased some aspects of disease in people residing near areas where herbicides/dioxin was previously stored.*

**Keywords:** herbicides, dioxin, hot spot, diseases, health risks, Da Nang, Bien Hoa, Phu Cat.

### References

1. Stellman J.M., Stellman S.D., Christian R., Weber T., Tomasallo C. The extent and patterns of usage of Agent Orange and other herbicides in Vietnam. *Nature*, 2003, vol. 422, pp. 681–687. DOI: 10.1038/nature01537
2. Young A.L. The History, Use, Disposition and Environmental Fate of Agent Orange. NY, Springer New York Publ., 2009, 339 p. DOI: 10.1007/978-0-387-87486-9
3. Pham D.T., Nguyen H.M., Boivin T.G., Zajacova A., Huzurbazar S.V., Bergman H.L. Predictors for dioxin accumulation in residents living in Da Nang and Bien Hoa, Vietnam, many years after Agent Orange use. *Chemosphere*, 2015, vol. 118, pp. 277–283. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.09.064
4. Committee to Review the Health Effects in Vietnam Veterans of Exposure to Herbicides (Tenth Biennial Update), Board on the Health of Select Populations, Institute of Medicine, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Veterans and Agent Orange: Update 2014. Washington, DC, The National Academies Press Publ., 2016, 1114 p. DOI: 10.17226/21845

© Trinh Khac Sau, Le Van Quang, 2024

**Sau Khac Trinh** – Doctor of Chemical Sciences, director (e-mail: sau\_tk@yahoo.com; tel.: +84 912-206-942; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5024-9936>).

**Quang Van Le** – Doctor of Medical Sciences (e-mail: lequang217@gmail.com; tel.: +84 813-262-933; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5286-3940>).

5. Manh H.D., Kido T., Takasuga T., Yamashita M., Giang L.M., Nakagawa H. The Relationship of Dioxin Levels in Serum of 9-Year-Old Vietnamese Children and Their Mothers' Breast Milk. *Toxics*, 2022, vol. 10, no. 4, pp. 155. DOI: 10.3390/toxics10040155
6. Nishijo M. Dioxin and Dioxin-like Compounds and Human Health. *Toxics*, 2023, vol. 11, no. 6, pp. 512. DOI: 10.3390/toxics11060512
7. Nishijo M., Tai P.T., Nakagawa H., Maruzeni S., Anh N.T.N., Luong H.V., Anh T.H., Honda R. [et al.]. Impact of perinatal dioxin exposure on infant growth: a cross-sectional and longitudinal studies in dioxin-contaminated areas in Vietnam. *PLoS One*, 2012, vol. 7, no. 7, pp. e40273. DOI: 10.1371/journal.pone.0040273
8. Nishijo M., Pham T.T., Nguyen A.T.N., Tran N.N., Nakagawa H., Hoang L.V., Tran A.H., Morikawa Y. [et al.]. 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin in breast milk increases autistic traits of 3-year-old children in Vietnam. *Mol. Psychiatry*, 2014, vol. 19, no. 11, pp. 1220–1226. DOI: 10.1038/mp.2014.18
9. Tran N.N., Pham T.T., Ozawa K., Nishijo M., Nguyen A.T.N., Tran T.Q., Hoang L.V., Tran A.H. [et al.]. Impacts of Perinatal Dioxin Exposure on Motor Coordination and Higher Cognitive Development in Vietnamese Preschool Children: A Five-Year Follow-Up. *PLoS One*, 2016, vol. 11, no. 1, pp. e0147655. DOI: 10.1371/journal.pone.0147655
10. Dwernychuk L.W. Dioxin hot spots in Vietnam. *Chemosphere*, 2005, vol. 60, no. 7, pp. 998–999. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.01.052
11. Tai P.T., Nishijo M., Kido T., Nakagawa H., Maruzeni S., Naganuma R., Anh N.T.N., Morikawa Y. [et al.]. Dioxin concentrations in breast milk of Vietnamese nursing mothers: a survey four decades after the herbicide spraying. *Environ. Sci. Technol.*, 2011, vol. 45, no. 15, pp. 6625–6632. DOI: 10.1021/es201666d
12. Tuyet-Hanh T.T., Minh N.H., Vu-Anh L., Dunne M., Toms L.-M., Tenkate T., Thi M.-H.N., Harden F. Environmental health risk assessment of dioxin in foods at the two most severe dioxin hot spots in Vietnam. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 2015, vol. 218, no. 5, pp. 471–478. DOI: 10.1016/j.ijheh.2015.03.014
13. World Health Organization. Assessment of the health risks of dioxin: re-evaluation of the Tolerable Daily Intake (TDI). Executive summary. Geneva, WHO European Centre for Environment and Health, International Programme on Chemical Safety, 1998, 28 p.
14. Sau T.K., Truong N.X., Hanh T.T.T., Le Hung B., Thang N.D., Le Lan Anh T. Ambient air monitoring around the dioxin remediation site in Da Nang, Vietnam, using passive air samplers. *Environ. Monit. Assess.*, 2021, vol. 193, no. 7, pp. 434. DOI: 10.1007/s10661-021-09223-7
15. Choi H.M., Kim H.C., Kang D.R. Sex differences in hypertension prevalence and control: Analysis of the 2010–2014 Korea National Health and Nutrition Examination Survey. *PLoS One*, 2017, vol. 12, no. 5, pp. e0178334. DOI: 10.1371/journal.pone.0178334
16. Díaz A., Beleña Á., Zueco J. The Role of Age and Gender in Perceived Vulnerability to Infectious Diseases. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17, no. 2, pp. 485. DOI: 10.3390/ijerph17020485
17. Nordström A., Hadrévi J., Olsson T., Franks P.W., Nordström P. Higher Prevalence of Type 2 Diabetes in Men Than in Women Is Associated With Differences in Visceral Fat Mass. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 2016, vol. 101, no. 10, pp. 3740–3746. DOI: 10.1210/je.2016-1915
18. The American people's dioxin report: technical support document. Falls Church, VA, Center for Health Environment and Justice, 1999.
19. Announcing the results of the national investigation of risk factors for non-communicable disease in 2015. *Vietnam General Department of Preventive Medicine*, 2015. Available at: <https://vncdc.gov.vn/cong-bo-ket-qua-dieu-tra-quoc-gia-yeu-to-nguy-co-benh-khong-lay-nhiem-nam-2015-nd14421.html> (February 09, 2024).
20. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Health and Medicine Division, Board on Population Health and Public Health Practice, Committee to Review the Health Effects in Vietnam Veterans of Exposure to Herbicides (Eleventh Biennial Update). *Veterans and Agent Orange: Update 11 (2018)*. Washington, DC, National Academies Press Publ., 2018. DOI: 10.17226/25137

*Trinh Khac Sau, Le Van Quang. Structure of some diseases and health risks for people residing in surrounding areas previously contained herbicides/dioxin. Health Risk Analysis*, 2024, no. 2, pp. 53–62. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.05.eng

Получена: 14.11.2023

Одобрена: 31.05.2024

Принята к публикации: 20.06.2024



Научная статья

## ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ТЕРРИТОРИИ ВЛИЯНИЯ КОСМОДРОМА «ВОСТОЧНЫЙ», В УСЛОВИЯХ МНОГОФАКТОРНОЙ МНОГОСРЕДОВОЙ ЭКСПОЗИЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

А.Д. Поляков<sup>1,2</sup>, М.Ю. Комбарова<sup>1,2</sup>, А.С. Радилов<sup>1</sup>, Л.А. Аликбаева<sup>2</sup>,  
И.Ш. Якубова<sup>2</sup>, А.В. Суворова<sup>2</sup>, О.Г. Хурцилава<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека, Российская Федерация, 188663, Ленинградская область, Всеволожский район, г.п. Кузьмоловский, ст. Капитолово, корп. 93

<sup>2</sup>Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Российская Федерация, 191015, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41

*Ракетно-космическая деятельность является существенным источником опасного воздействия на окружающую среду, результаты которого могут проявляться на территории расположения космодрома, сопредельных с ним территориях, в районах падения отделяющихся частей ракеты-носителя. При этом отрасль обладает рядом специфических особенностей, формирующих риски для здоровья населения.*

*Выполнена оценка риска здоровью населения г. Циолковского при воздействии химических веществ, загрязняющих объекты окружающей среды, в соответствии с методическими подходами, представленными в действующем руководстве (Р 2.1.10.3968-23). В качестве исходных материалов использованы данные натурных наблюдений за объектами окружающей среды, выполненных в рамках социально-гигиенического мониторинга и в экспедиционных условиях, и данные проекта обоснования санитарно-защитной зоны площадок космодрома «Восточный».*

*Для расчета уровней экспозиции в условиях хронического воздействия химических веществ применяли среднегодовые концентрации и их верхние 95%-ные доверительные границы, установленные по среднесуточным концентрациям. Для оценки острых воздействий использовали 95%-ный перцентиль максимальных разовых концентраций.*

*Установлено, что ведущей средой в формировании неканцерогенного риска здоровью населения г. Циолковского является атмосферный воздух (88,99 %). Основной вклад в риск развития хронических неканцерогенных эффектов вносят взвешенные вещества (42,4 %).*

*В условиях комбинированного поступления веществ ингаляционным путем установленыстораживающие уровни хронического неканцерогенного риска развития нарушений работы органов дыхания (до 5,9 НД) и системы крови (до 4,1 НД). При этом основной вклад в формирование неканцерогенного риска вносят взвешенные вещества (до 42,4 %), свинец (до 25,9 %), азота оксид (до 20,2 %), азота диоксид и углерода оксид (по 23,1 %).*

**Ключевые слова:** ракетно-космическая деятельность, космодром «Восточный», город Циолковский, ракетное топливо, оценка риска, факторы окружающей среды, химические загрязнители, нарушения здоровья, канцерогенный риск, неканцерогенный риск.

© Поляков А.Д., Комбарова М.Ю., Радилов А.С., Аликбаева Л.А., Якубова И.Ш., Суворова А.В., Хурцилава О.Г., 2024  
**Поляков Артем Дмитриевич** – научный сотрудник; очный аспирант кафедры общей и военной гигиены (e-mail: tema.poliackow2011@yandex.ru; тел.: 8 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8969-240X>).

**Комбарова Мария Юрьевна** – кандидат медицинских наук, заведующий отделом общей гигиены и экологии человека; доцент кафедры общей и военной гигиены (e-mail: kombar\_73@mail.ru; тел.: 8 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0435-3228>).

**Радилов Андрей Станиславович** – доктор медицинских наук, профессор, исполняющий обязанности директора (e-mail: niigpech@rihophe.ru; тел.: 8 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6223-8589>).

**Аликбаева Лилия Абдулнзимовна** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей и военной гигиены (e-mail: alikbaeva@mail.ru; тел.: 8 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2266-5041>).

**Якубова Ирек Шавкатовна** – доктор медицинских наук, профессор кафедры профилактической медицины и охраны здоровья (e-mail: yakubova-work@yandex.ru; тел.: 8 (812) 543-17-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2437-1255>).

**Суворова Анна Васильевна** – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры профилактической медицины и охраны здоровья (e-mail: suvorova-work@mail.ru; тел.: 8 (812) 543-17-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0990-8299>).

**Хурцилава Отари Гивиевич** – доктор медицинских наук, профессор, президент (e-mail: rektorat@szgmu.ru; тел.: 8 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7199-671X>).



Ракетно-космическая деятельность занимает важное место среди современных источников воздействия на окружающую среду. Данная область деятельности обладает рядом специфических особенностей, ее результаты могут проявляться как на территории расположения космодрома и сопредельных с ним территориях, так и в районах падения отделяющихся частей ракеты-носителя (далее – РН) [1, 2].

По показателю потенциального риска причинения вреда здоровью населения деятельность космодрома относится к категории чрезвычайно высокого риска<sup>1</sup>. Технология запусков не исключает возможное загрязнение экосистем на всех стадиях подготовки, пуска и полета РН, в связи с чем источниками загрязнения могут быть ракетное топливо и продукты его сгорания и разложения, продукты реакции топлива с составляющими атмосферы, утечка топлива, а также аварии при транспортировке, заправке ракет и хранении токсичных веществ [3–6]. Однако наиболее опасными потенциальными источниками выбросов высокотоксичных химических веществ являются объекты наземной инфраструктуры космодрома<sup>2</sup>, на которых проводятся работы по подготовке к пуску РН (стартовый и технический комплексы, хранилища высокотоксичных компонентов ракетного топлива, системы заправки и перекачки промстоков, станции нейтрализации паров и промстоков) [7, 8].

Техногенную нагрузку испытывают все объекты окружающей среды, находящиеся в зоне влияния космодрома. Попадая в них, ракетное топливо претерпевает ряд физико-химических превращений. Например, испаряется с поверхности пролива; сорбируется почвой, растениями, донными отложениями; растворяется в грунтовых и поверхностных водах, почвенной влаге и атмосферных осадках и т.д. [9–15].

Результаты сторонних наблюдений подтверждают значимость негативного влияния поллютантов результатов деятельности космодрома на состояние здоровья населения и условия проживания. Поражения человека агрессивными, высокотоксичными компонентами ракетного топлива возможны при нарушении технологического процесса, аварийных ситуациях на производстве, при обслуживании ракетной техники или контакте с разрушенными конструкциями ступеней РН в районах падения, а также при длительном контакте в производственных условиях даже в малых концентрациях изучаемых компонентов. Из

этого следует, что возможно возникновение как острых, так и хронических нарушений здоровья в результате действия химических компонентов ракетного топлива на человека [16–21].

Например, несимметричный диметилгидразин (НДМГ, гептил) и его производные по степени воздействия на живой организм являются чрезвычайно опасными компонентами ракетного топлива при поступлении через желудочно-кишечный тракт, органы дыхания, кожу и слизистые<sup>3</sup>. Обладают полиорганным действием: поражают сердечно-сосудистую и нервную системы, печень, системы дыхания, пищеварения, кроветворения, мочевыделения, нарушают обмен белков, липидов, углеводов, окислительно-восстановительные реакции, транспорт кислорода и свертывание крови. В эксперименте на животных доказаны отдаленные эффекты НДМГ: канцерогенный, мутагенный, тератогенный, эмбриотропный<sup>3</sup> [16, 18, 20–22].

Для закрытых административно-территориальных образований, таких как «Циолковский», который включает в себя г. Циолковский и градообразующее предприятие – космодром «Восточный», являющийся источником химической и взрывопожарной опасности, по мере развития космодрома необходим регулярный анализ и оценка возможных последствий его техногенного влияния на здоровье населения и окружающую среду [23–25].

Одним из наиболее эффективных аналитических инструментов, позволяющих оценить безопасность человека, является методология оценки риска здоровью населения.

**Цель исследования** – проведение оценки риска здоровью населения г. Циолковского, проживающего в условиях многофакторной экспозиции химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, питьевой воде и почве, и разработка гигиенических мероприятий по минимизации техногенного влияния космодрома на здоровье человека.

**Материалы и методы.** Исследование выполнено в рамках федеральной целевой программы «Развитие космодромов на период 2017–2025 годов в обеспечении космической деятельности Российской Федерации».

Объектом исследования являлся космодром «Восточный» как потенциальный источник неблагоприятного воздействия на окружающую среду и здоровье населения г. Циолковского.

Принимая во внимание невысокий уровень чувствительности применяемых аналитических ме-

<sup>1</sup> О федеральном государственном санитарно-эпидемиологическом контроле (надзоре): Постановление Правительства Российской Федерации от 30.06.2021 № 1100 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/607148291> (дата обращения: 12.03.2024).

<sup>2</sup> Проект обоснования санитарно-защитной зоны площадок № 1, 2, 3 космодрома «Восточный»: проектная документация. – 2013. – Т. 1.

<sup>3</sup> Справочник по токсикологии и гигиеническим нормативам (ПДК) потенциально опасных химических веществ / под ред. В.С. Кушневой, Р.Б. Горшковой. – М.: ИздАТ, 1999. – 272 с.

тодов по сравнению с референтными концентрациями при ингаляционном воздействии потенциально опасных веществ, по ряду поллютантов (НДМГ, керосин, диметиламин, этилбензол) при оценке экспозиции использовали комбинацию результатов мониторинга с данными, полученными с применением моделирования рассеивания выбросов.

Для расчета уровней экспозиции в условиях хронического воздействия химических веществ применяли среднегодовые концентрации и их верхние 95%-ные доверительные границы, установленные по среднесуточным концентрациям за исследуемый период. Для оценки острых воздействий использовали 95-ый перцентиль максимальных разовых концентраций.

Результаты лабораторных исследований объектов окружающей среды (атмосферного воздуха, питьевой воды, почвы) получены в рамках ведения социально-гигиенического мониторинга, реализации расширенной программы мониторинга при осуществлении пусков РН, выполненные на базе ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии № 51» ФМБА России и ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека» ФМБА России за период 2017–2023 гг., а также собственных натурных инструментальных исследований, проведенных в экспедиционных условиях.

Всего в период 2017–2023 гг. контролировали содержание от 22 до 27 загрязняющих веществ, поступающих в составе суммарных выбросов в атмосферу; от 39 до 42 показателей в питьевой воде, в том числе органолептические, микробиологические и паразитологические. Оценка загрязнения почвы селитебной территории г. Циолковского выполнена по содержанию 19 химических веществ. Образцы исследовались на наличие специфических веществ – НДМГ и продуктов его деструкции – нитрозодиметиламина (НДМА), диметиламина (ДМА), тетраметилтетразена (ТМТ), формальдегида, – и на содержание химических веществ общетоксического действия – диоксидов серы и азота, оксидов азота и углерода, сероводорода, фенола, взвешенных веществ. Проводился количественный анализ содержания свинца, ртути, никеля, кадмия, кобальта, цинка, меди, хрома, также определяли концентрацию бенз(а)пирена, мышьяка, нефтепродуктов и пр.

Химическое вещество исключалось из перечня, если его концентрации ниже порога определения были установлены более чем в 95 % отобранных проб.

Для моделирования рассеивания в атмосферном воздухе загрязняющих веществ, выбрасываемых стационарными источниками космодрома, и расчетов среднегодовых концентраций использовалась Унифицированная программа расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА) «Эколог», версия 4,6, программный модуль «Средние». Метеорологические характеристики территории были получены по специальному запросу от Федерального государственного бюджетного учреждения «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» (ФГБУ «ГГО») в виде метеофайла. Расчеты рассеивания выполнены для НДМГ, керосина, диметиламина, этилбензола.

Характеристика основных техногенных источников загрязнения химическими веществами объектов окружающей среды на территории размещения космодрома «Восточный» изучена по данным проекта обоснования санитарно-защитной зоны для стартового, технического комплексов и комплекса по производству и хранению компонентов ракетного топлива.

Для расчетов и оценки уровней риска для здоровья населения применяли методологию, представленную в «Руководстве по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания» (Р 2.1.10.3968-23)<sup>4</sup>, путем последовательной реализации всех этапов. Расчет рисков проводили отдельно для канцерогенных и неканцерогенных эффектов с описанием приоритетных сред воздействия и путей поступления химических поллютантов в организм человека.

При выборе химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, питьевой воде и почве и приоритетных для последующей оценки риска здоровью населения, анализировались их параметры токсичности и опасности, включая значения референтных уровней и соответствующие им критические органы и системы, а также факторы канцерогенного потенциала.

В процедуру оценки риска включали химические вещества, соответствующие следующим критериям: принадлежность вещества к перечням приоритетных и особо опасных химических веществ<sup>5</sup>; значимый вклад веществ (не менее 95 %) в величину индекса сравнительной неканцерогенной опасности и в уровень валового выброса; величина коэффициента опасности ( $HQ$ ) не менее 0,1, наличие канцерогенного действия вещества.

Ввиду опасности канцерогенного действия в оценку риска включены все вещества, обладающие канцерогенными свойствами в соответствии с дан-

<sup>4</sup> Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания / утв. Федеральной службой по надзору в сфере здравоохранения от 5 сентября 2023 г. [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/408644981/> (дата обращения: 15.01.2024).

<sup>5</sup> О списке приоритетных веществ, содержащихся в окружающей среде, и их влияние на здоровье населения: информационное письмо Департамента Госсанэпиднадзора Минздрава РФ от 7 августа 1997 года № 11/109-111 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/4177814/> (дата обращения: 30.11.2023).

ными МАИР и U.S. EPA в соответствии с Р 2.1.10.3968-23, для которых установлены факторы канцерогенного потенциала.

На этапе оценки экспозиции рассчитаны дозовые нагрузки, с которыми сталкивается население г. Циолковского, при поступлении химического вещества в организм разными путями (ингаляционным, пероральным, накожным) в результате контакта с атмосферным воздухом, питьевой водой и почвой. При оценке маршрутов воздействия загрязняющих веществ с питьевой водой и почвой определить точные источники возможного загрязнения невозможно. В связи с этим анализ присущих им маршрутов воздействия был неполным. Окончательный сценарий экспозиции изучаемых химических факторов представлен в табл. 1.

Таблица 1

Сценарий воздействия химических факторов, содержащихся в исследуемых объектах окружающей среды

Объект окружающей среды	Путь поступления		
	ингаляционный	пероральный	накожный
Атмосферный воздух	+	–	–
Питьевая вода	–	+	+
Почва	–	+	+

Экспозиция в процессе трудовой деятельности в данном исследовании не учитывалась.

Расчет поступления химических веществ с питьевой водой и почвой проводился на основе анализа имеющихся данных мониторинга.

Для оценки риска неканцерогенных эффектов рассчитывались коэффициенты ( $HQ$ ) и индексы ( $HI$ ) опасности, в том числе суммарный ( $THI$ ) при много-средовом и многофакторном поступлении. Расчет индивидуального канцерогенного риска ( $CR$ ) выполнен с использованием данных о величине экспозиции и значениях фактора канцерогенного потенциала для исследуемого пути поступления при многофакторной и многосредовой экспозиции ( $TCR$ ) в соответствии с расчетными формулами прил. 14 Р 2.1.10.3968-23.

Критерии приемлемости и градации канцерогенного и неканцерогенного риска принимали в соответствии с положениями Р 2.1.10.3968-23. Граница допустимости (приемлемости) канцерогенного риска находится в диапазоне от  $1,0 \cdot 10^{-6}$  до  $1,0 \cdot 10^{-4}$ , для неканцерогенного риска величина коэффициента опасности не должна превышать 1,0, индекса опасности – не более 3,0.

**Результаты и их обсуждение.** На этапе идентификации опасности в результате ранжирования аэрогенных примесей определены 12 приоритетных веществ, из которых потенциальной способностью оказывать хроническое неканцерогенное действие на население обладают все исследуемые вещества; ост-

рое неканцерогенное действие – шесть химических веществ (азот диоксид, бензол, диоксид серы, углерода оксид, формальдегид, фенол), канцерогенное действие – семь веществ (НДМГ, бенз(а)пирен, формальдегид, бензол, этилбензол, сажа (углерод), свинец).

Комбинированное поступление анализируемых веществ при хронической ингаляционной экспозиции может обуславливать развитие нарушений здоровья со стороны органов дыхания (азота диоксид, азота оксид, формальдегид, сажа, серы диоксид, взвешенные вещества), системы крови (бензол, азота диоксид, азота оксид, углерода оксид, свинец), процессов развития (бенз(а)пирен, этилбензол, углерода оксид, свинец), центральной нервной системы (углерода оксид, свинец), сердечно-сосудистой системы (углерода оксид, фенол), печени (НДМГ, фенол), почек (свинец, фенол).

При острой ингаляционной экспозиции возможно формирование неканцерогенных нарушений со стороны органов дыхания (азота диоксид, серы диоксид, фенол) и органов зрения (формальдегид, фенол).

В питьевой воде централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения выделены 13 приоритетных для исследования химических веществ, из которых 12 способны оказывать неблагоприятное действие на центральную нервную систему (марганец, мышьяк, ртуть), процессы развития (мышьяк, ртуть, бор), систему крови (нитраты, нитриты, цинк), почки (молибден, кадмий, ртуть), желудочно-кишечный тракт (медь, фториды, железо). Кадмий, мышьяк, свинец по данным МАИР и U.S. EPA могут оказывать канцерогенное действие при пероральном поступлении с питьевой водой.

В почве определены 10 приоритетных химических примесей, из которых четыре обладают канцерогенными свойствами (НДМГ, мышьяк, кадмий, свинец) и восемь при комбинированном поступлении могут обуславливать развитие нарушений здоровья со стороны центральной нервной системы (марганец, мышьяк, ртуть), процессов развития (мышьяк, ртуть), системы крови (цинк, нитраты), почек (кадмий, ртуть), желудочно-кишечного тракта (формальдегид, медь).

По результатам проведения оценки канцерогенного риска здоровью установлено, что факторами, определяющими наибольший вклад в показатель суммарного индивидуального канцерогенного риска здоровью, является мышьяк (при поступлении с питьевой водой для детского и взрослого населения – 97,92 %, с почвой – 25,44 и 20,5 % соответственно), формальдегид (из атмосферного воздуха – 80,85 % для детского населения и 80,88 % для взрослого) и НДМГ (из почвы – 65,29 % для детей и 65,58 % для взрослых) (табл. 2).

Основной вклад в величину индивидуального суммарного канцерогенного риска для исследуемых путей поступления химических веществ для взрослого населения оказывает питьевая вода – 58,94 %, для детского – питьевая вода и атмосферный воздух – 36,09 и 35,44 % соответственно (табл. 3).

Таблица 2

Суммарный индивидуальный канцерогенный риск здоровью при многомаршрутной, многосредовой экспозиции химических веществ

Химическое вещество	Атмосферный воздух		Питьевая вода		Почва	
	CR	Вклад, %	CR	Вклад, %	CR	Вклад, %
<i>Взрослое население</i>						
Бенз(а)пирен	6,6E-10	0,01	–	–	–	–
<b>НДМГ</b>	6,4E-08	0,67	–	–	2,6E-06	<b>65,58</b>
Бензол	1,5E-06	15,76	–	–	–	–
Сажа	4,5E-09	0,05	–	–	–	–
<b>Формальдегид</b>	7,7E-06	<b>80,88</b>	–	–	–	–
Этилбензол	8,7E-10	0,01	–	–	–	–
Свинец	2,5E-07	2,63	1,1E-08	0,05	8,4E-09	0,21
Кадмий	–	–	3,9E-07	2,02	3,5E-07	8,71
<b>Мышьяк</b>	–	–	1,9E-05	<b>97,92</b>	1,0E-06	<b>25,50</b>
Суммарный индивидуальный канцерогенный риск здоровью ( $\Sigma CR$ )	9,5E-06	100	1,9E-05	100	4,0E-06	100
<i>Детское население</i>						
Бенз(а)пирен	6,2E-10	0,01	–	–	–	–
<b>НДМГ</b>	6,0E-08	0,67	–	–	4,7E-06	<b>65,29</b>
Бензол	1,4E-06	15,72	–	–	–	–
Сажа	4,2E-09	0,05	–	–	–	–
<b>Формальдегид</b>	7,2E-06	<b>80,85</b>	–	–	–	–
Этилбензол	8,1E-10	0,01	–	–	–	–
Свинец	2,4E-07	2,69	5,0E-09	0,05	1,5E-08	0,21
Кадмий	–	–	1,8E-07	2,02	6,5E-07	9,06
<b>Мышьяк</b>	–	–	8,9E-06	<b>97,92</b>	1,8E-06	<b>25,44</b>
Суммарный индивидуальный канцерогенный риск здоровью ( $\Sigma CR$ )	8,9E-06	100	9,1E-06	100	7,2E-05	100

Таблица 3

Индивидуальный канцерогенный риск и долевые вклады объектов окружающей среды в величину суммарного индивидуального канцерогенного риска при многомаршрутной, многосредовой экспозиции химических веществ

Путь поступления	Атмосферный воздух	Питьевая вода	Почва	Суммарный индивидуальный канцерогенный риск для исследуемого пути поступления	Вклад, %
<i>Взрослое население</i>					
Ингаляционный	9,5E-06	–	–	9,5E-06	28,61
Пероральный	–	1,9E-05	3,6E-07	2,0E-05	<b>60,24</b>
Накожный	–	1,0E-07	3,6E-06	3,7E-06	11,14
Суммарный уровень индивидуального канцерогенного риска ( $\Sigma CR$ )	9,5E-06	2,0E-05	4,0E-06	3,3E-05	100
Долевой вклад объектов окружающей среды в величину суммарного индивидуального канцерогенного риска для исследуемого пути поступления, %	28,92	<b>58,94</b>	12,14	100	–
<i>Детское население</i>					
Ингаляционный	8,9E-06	–	–	8,9E-06	35,46
Пероральный	–	9,0E-06	3,6E-07	9,4E-06	<b>37,45</b>
Накожный	–	5,9E-08	6,8E-06	6,8E-06	27,09
Суммарный уровень индивидуального канцерогенного риска ( $\Sigma CR$ )	8,9E-06	9,1E-06	7,2E-06	2,5E-05	100
Долевой вклад объектов окружающей среды в величину суммарного индивидуального канцерогенного риска для исследуемого пути поступления, %	<b>35,44</b>	<b>36,09</b>	28,47	100	–

Таблица 4

Уровни неканцерогенного риска (индексы опасности) по критическим органам / системам и по объектам среды обитания в условиях многофакторного многосредового воздействия

Критический орган / система	Атмосферный воздух		Питьевая вода		Почва		Суммарный индекс опасности ( $\Sigma HI$ )	
	взрослые	дети	взрослые	дети	взрослые	дети	взрослые	дети
Органы дыхания	1,50	<b>5,90</b>	—	—	—	—	1,50	<b>5,90</b>
Сердечно-сосудистая система	0,40	1,76	—	—	—	—	0,40	1,76
Центральная нервная система	0,40	1,70	0,19	0,44	0,0007	0,004	0,59	2,14
Система крови	0,86	<b>3,47</b>	0,25	0,58	0,00001	0,0001	1,11	<b>4,05</b>
Процессы развития	0,40	1,70	0,19	0,45	0,0006	0,003	0,59	2,15
Печень	0,20	0,96	—	—	—	—	0,20	0,96
Почки	0,40	1,86	0,09	0,21	0,002	0,001	0,49	2,07
Желудочно-кишечный тракт	—	—	0,07	0,16	0,00001	0,0001	0,07	0,16

Таблица 5

Вклады объектов окружающей среды в величину суммарного индекса опасности в условиях многофакторного многосредового воздействия

Критический орган / система	Вклад, %		
	атмосферный воздух	питьевая вода	почва
Органы дыхания	100,0	—	—
Сердечно-сосудистая система	100,0	—	—
Центральная нервная система	76,7	23,1	0,2
Система крови	83,8	16,2	менее 0,01
Процессы развития	76,3	23,6	0,1
Печень	100,0	—	—
Почки	88,2	11,8	менее 0,01
Желудочно-кишечный тракт	—	100,0	менее 0,01
Долевой вклад объектов окружающей среды в величину суммарного индекса опасности	<b>88,99</b>	10,93	0,08

Однако, несмотря на это, показатели суммарного индивидуального канцерогенного риска для населения, проживающего на территории г. Циолковского, при многосредовом многофакторном поступлении исследуемых веществ-канцерогенов являются допустимыми (приемлемыми) и составили для детского населения  $2,5 \cdot 10^{-5}$ , для взрослого —  $3,3 \cdot 10^{-5}$ .

Результаты расчетов острого неканцерогенного риска не выявили превышений допустимых значений коэффициентов и индексов опасности развития неканцерогенных эффектов. Уровни развития острого неканцерогенного риска нарушений работы со стороны органов дыхания составили до 0,26 *HIac* для взрослого и до 1,19 *HIac* для детского населения; со стороны органов зрения — до 0,27 и 1,22 *HIac* соответственно.

В результате расчетов установленстораживающий уровень неканцерогенного риска здоровью детского населения в условиях хронического ингаляционного воздействия взвешенных веществ (до 2,5 *HQch*).

В условиях комбинированного поступления веществ ингаляционным путем установленыстораживающие уровни хронического неканцерогенного риска (от 3,5 до 5,9 *HI*) развития заболеваний со стороны органов дыхания (до 5,9 *HI*) и системы крови (до 4,1 *HI*). Основной вклад в формирование

неканцерогенного риска со стороны органов дыхания вносят взвешенные вещества (до 42,4 %), со стороны нарушений системы крови — свинец (до 25,9 %), азота диоксид и углерода оксид (по 23,1 %), азота оксид (до 20,2 %) (табл. 4).

Преобладающий вклад в формирование неканцерогенных нарушений со стороны здоровья в условиях хронической экспозиции вносит атмосферный воздух — 88,99 % (табл. 5).

**Выводы.** Оценка многосредового риска показала, что ведущей средой в формировании неканцерогенного риска здоровью населения г. Циолковского является атмосферный воздух (88,99 %). Основной вклад в риск развития хронических неканцерогенных эффектов вносят взвешенные вещества (42,4 %), содержание в атмосферном воздухе которых формирует неприемлемый уровень риска здоровью — 2,5 *HQch*.

В условиях комбинированного поступления веществ ингаляционным путем установленыстораживающие уровни неприемлемого хронического неканцерогенного риска развития нарушений работы органов дыхания (до 5,9 *HI*) и системы крови (до 4,1 *HI*). При этом основной вклад в формирование неканцерогенного риска вносят взвешенные вещества (до 42,4 %), свинец (до 25,9 %), азота оксид (до 20,2 %), азота диоксид и углерода оксид (по 23,1 %).

Установленные уровни риска неприемлемы для населения в целом и требуют разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости управленческих решений с целью создания безопасной комфортной среды проживания и хозяйственной деятельности на территории г. Циолковского.

В связи с завершением строительства и введением в эксплуатацию нового стартового комплекса РН «Ангара» на космодrome «Восточный» значительно повысится интенсивность производственной деятельности. Внедрение новых технологий и образцов ракетно-космической техники обуславливает необходимость мониторинга уровней воздействия вредных химических факторов. В первую очередь, важен контроль за содержанием ракетного топлива, динамикой и характером его накопления в объектах окружающей среды в процессе деятельности космодрома для гигиенической оценки по-

следствий ракетно-космической деятельности для здоровья населения и среды его обитания.

С целью минимизации риска здоровью населения г. Циолковского необходимо:

- определить приоритеты природоохранной политики космодрома «Восточный»;
- оптимизировать программы мониторинга качества среды обитания с учетом приоритетных источников загрязнения окружающей среды и химических веществ, вносящих наибольший вклад в риск развития неблагоприятных эффектов;
- использовать информационно-аналитические возможности системы социально-гигиенического мониторинга для адресного управления риском здоровью населения.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Ладыгина Л.Ф., Галуцкая Т.В., Рагозина М.А. Экологические проблемы космической деятельности: воздействие ракетно-космической техники на окружающую природную среду // Решетневские чтения. – 2013. – Т. 2. – С. 355–356.
2. Баранов М.Е., Дубынин П.А. Социально-экологические последствия ракетно-космической деятельности // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2018. – № 2. – С. 470–472.
3. Кондратьев А.Д., Королева Т.В. Жидкие ракетные топлива: контроль и оценка экологической опасности // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21, № 2. – С. 45–51. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-2-45-51
4. Техногенная трансформация наземных экосистем при эксплуатации ракетно-космической техники / Т.В. Королева, П.П. Кречетов, А.В. Шарапова, А.Д. Кондратьев // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21. № 8. – С. 26–32. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-8-26-32
5. Пьянков Е.А., Шевкунова О.И., Уфимцева Л.В. Загрязнение окружающей среды компонентами ракетного топлива разгонного блока «Фрегат» при возникновении аварийной ситуации на этапе подготовки и запуска с космодрома «Восточный» // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2014. – Т. 1. – С. 244–249.
6. Научно-методическое обеспечение эколого-гигиенической безопасности территорий размещения шахтных пусковых установок после вывода их из эксплуатации и рекультивации земель / О.Н. Семенова, Н.Ф. Воронин, С.Е. Иванов, С.В. Чистяков // Медицина экстремальных ситуаций. – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 186–192.
7. Организационные, токсикологические и санитарно-гигиенические аспекты химической безопасности территорий в зоне возможного влияния промышленных предприятий / О.Н. Семенова, А.В. Алехнович, А.А. Круглов, С.П. Чушняков, А.С. Ливанов // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2015. – № 11 (272). – С. 27–30.
8. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в почве селитебной зоны ЗАТО Циолковский на начальном этапе эксплуатации космодрома «Восточный» / О.Н. Семенова, С.Е. Иванов, О.Б. Шашкова, О.М. Худякова, С.В. Смирнова // Медицина экстремальных ситуаций. – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 75–83.
9. Результаты мониторинга вредных химических факторов окружающей среды в районе расположения космодрома «Восточный» на начальном этапе его эксплуатации / О.Н. Семенова, С.Е. Иванов, С.В. Чистяков, Т.В. Рябова // Амурский медицинский журнал. – 2018. – № 3 (23). – С. 14–19. DOI: 10.22448/AMJ.2018.3.14-19
10. Экологическое сопровождение на территории Республики Алтай пусков ракет-носителей «Протон» с космодрома Байконур / А.Н. Зяблицкая, Л.В. Щучинов, В.Б. Алексеев, Т.В. Нурисламова // Анализ риска здоровью – 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2020 и круглым столом по безопасности питания: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т. / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – 2020. – Т. 1. – С. 243–249.
11. Особенности мониторинга влияния ракетно-космической деятельности на здоровье населения и окружающую среду Республики Алтай / Л.В. Щучинов, А.Н. Зяблицкая, В.Б. Алексеев, Т.В. Нурисламова // Актуальные вопросы анализа риска при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь, 2018. – С. 257–261.
12. Поляков А.Д., Комбарова М.Ю. Обеспечение безопасности окружающей среды как комплексная гигиеническая проблема при эксплуатации ракетно-космической техники // Развивая вековые традиции, обеспечивая "санитарный щит" страны: материалы XIII Всероссийского съезда гигиенистов, токсикологов и санитарных врачей с международ-



ным участием, посвященного 100-летию основания Государственной санитарно-эпидемиологической службы России / под ред. д.м.н., проф. А.Ю. Поповой, д.м.н., проф. С.В. Кузьмина. – Мытищи: ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 2022. – Т. 2. – С. 168–172.

13. Экологическое состояние водотоков позиционного района космодрома «Восточный» / А.В. Пузанов, В.В. Кириллов, Д.М. Безматерных, И.А. Алексеев, О.Н. Вдовина, Н.И. Ермолаева, Е.Ю. Зарубина, Г.В. Винокурова [и др.] // География и природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 66–72. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(66-72)

14. Королева Т.В., Шарапова А.В., Кречетов П.П. Химический состав снега на территориях, подверженных воздействию ракетно-космической деятельности (Республика Алтай) // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 5. – С. 432–437. DOI: 10.1882/0016-9900-2017-96-5-432-437

15. Ландшафты территории космодрома «Восточный» и их антропогенная трансформация / А.В. Пузанов, В.В. Самброс, И.А. Алексеев, Д.М. Безматерных. – Барнаул: ООО «Пять плюс», 2018. – 227 с.

16. Экспериментальные исследования влияния низких концентраций гептила и продуктов его гидролиза на воду и биологические объекты / Л.С. Ягужинский, И.В. Манухов, Э.Р. Вагапова, А.Г. Кассених, М.Н. Коноплева, Г.Б. Завильгельский, В.Ю. Котова, В.И. Брусков [и др.]; под ред. д.х.н., проф. Л.С. Ягужинского. – М.: Междисциплинарный центр фундаментальных исследований МФТИ, 2015. – 230 с.

17. Шпигун О.А., Кондратьев А.Д. Особенности оценки воздействия низких концентраций гептила на объекты окружающей среды при эксплуатации ракетной техники // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2004. – № 4. – С. 59–63.

18. Динамика распространенности болезней системы кровообращения среди населения Алтайского края, проживающего в зоне влияния ракетно-космической деятельности / И.Б. Колядо, С.В. Плугин, С.И. Трибунский, А.А. Карпенко // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – № 6. – С. 353–358. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-6-353-358

19. Реальные и мнимые последствия ракетно-космической деятельности для здоровья населения / Н.А. Мешков, Е.А. Вальцева, Е.Н. Харламова, А.З. Куликова // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94, № 7. – С. 117–122.

20. Колядо И.Б., Плугин С.В., Шойхет Я.Н. Сравнительное динамическое исследование показателей здоровья населения Алтайского края, проживающего вблизи районов падения отделяющихся частей ракет-носителей // Бюллетень науки и практики. – 2016. – № 6. – С. 115–125.

21. Скребцова Н.В., Совершаева С.Л., Павлова Е.А. Характеристика и анализ динамики смертности населения, проживающего вблизи районов падения отделяющихся частей ракет-носителей // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2005. – № 5 (146). – С. 30–32.

22. Сидоров П.И., Скребцова Н.В., Совершаева С.Л. Медико-экологические аспекты здоровья населения на территориях ракетно-космической деятельности // Гигиена и санитария. – 2006. – № 3. – С. 11–15.

23. Содержание тяжелых металлов в почвах и грунтах природно-антропогенных комплексов позиционного района космодрома «Восточный» / И.А. Алексеев, А.В. Алехнович, Т.А. Мередилина, Л.П. Карацуба, Е.А. Щипцова, А.А. Круглов // Медицина экстремальных ситуаций. – 2016. – № 3 (57). – С. 70–76.

24. Поляков А.Д., Комбарова М.Ю., Сальников А.А. Гигиенические аспекты водопользования населения территории в зоне влияния космодрома «Восточный» // Санитарный врач. – 2023. – № 1. – С. 26–35. DOI: 10.33920/med-08-2301-03

25. Комбарова М.Ю., Поляков А.Д. Гигиеническая оценка загрязненности почвы в зоне влияния космодрома «Восточный» // Профилактическая медицина – 2020: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – СПб.: СЗГМУ им. И.И. Мечникова, 2020. – Ч. 1. – С. 209–212.

*Оценка риска здоровью населения, проживающего на территории влияния космодрома «Восточный», в условиях многофакторной многосредовой экспозиции химических веществ / А.Д. Поляков, М.Ю. Комбарова, А.С. Радилов, Л.А. Аликбаева, И.Ш. Якубова, А.В. Суворова, О.Г. Хурцилава // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 63–73. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.06*



## Research article

# ASSESSMENT OF THE HEALTH RISK FOR PEOPLE RESIDING ON THE TERRITORY INFLUENCED BY THE VOSTOCHNY COSMODROME UNDER MULTI-FACTOR AND MULTI-ENVIRONMENT EXPOSURE TO CHEMICALS

**A.D. Polyakov<sup>1,2</sup>, M.Yu. Kombarova<sup>1,2</sup>, A.S. Radilov<sup>1</sup>, L.A. Alikbaeva<sup>2</sup>,  
I.S. Iakubova<sup>2</sup>, A.V. Suvorova<sup>2</sup>, O.G. Khurtsilava<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Scientific Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology, Kapitolovo Art., bldg 93, Kuzmolovsky Settl., Vsevolozhsky District, Leningrad Region, 188663, Russian Federation

<sup>2</sup>North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, 41 Kirochnaya St., Saint Petersburg, 191015, Russian Federation

*Rocket and space activities occupy an important place among modern sources of impact on the environment. Its results can manifest themselves in an area where a cosmodrome is located, adjacent territories, in areas where separated parts of a launch vehicle fall. This impact has certain specific features that create population health risks.*

*Health risks for population of Tsiolkovsky settlement were assessed upon exposure to chemicals that pollute the environment in accordance with the methodical approaches stipulated in the valid Guide (R 2.1.10.3968-23). Initial data were represented by results of environmental surveillance accomplished within social-hygienic monitoring and in field conditions as well as by data collected for a project aimed at substantiating a sanitary protection zone for the Vostochny Cosmodrome launch sites.*

*Average annual concentrations and their 95 % confidence intervals, which were established based on average daily concentrations, were used to calculate chronic chemical exposures. The 95 % percentile of maximum single concentrations was employed to calculate acute exposures.*

*Ambient air was established to make the greatest contribution (88.99 %) into non-carcinogenic health risks for people residing in Tsiolkovsky settlement. Particulate matter made the greatest contribution (42.4 %) to the risk of chronic non-carcinogenic effects.*

*Alerting chronic non-carcinogenic risks of respiratory diseases (up to 5.9 HI) and the blood system (up to 4.1 HI) were established under combined inhalation chemical exposures. Major contributions to non-carcinogenic risks are made by particulate matter (up to 42.4 %), lead (up to 25.9 %), nitrogen oxide (up to 20.2 %), nitrogen dioxide and carbon oxide (23.1 % each).*

**Keywords:** *rocket and space activities, Vostochny cosmodrome, Tsiolkovsky settlement, rocket fuel, risk assessment, environmental factors, chemical pollutants, health problems, carcinogenic and non-carcinogenic risk.*

© Polyakov A.D., Kombarova M.Yu., Radilov A.S., Alikbaeva L.A., Iakubova I.S., Suvorova A.V., Khurtsilava O.G., 2024

**Artem D. Polyakov** – Researcher; post-graduate student of Common and Military Hygiene Department (e-mail: tema.poliackow2011@yandex.ru; tel.: +7 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8969-240X>).

**Maria Yu. Kombarova** – Candidate of Medical Sciences, Head of Common Hygiene and Human Ecology Department; Associate Professor of Common and Military Hygiene Department (e-mail: kombar\_73@mail.ru; tel.: +7 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0435-3228>).

**Andrei S. Radilov** – Doctor of Medical Sciences, Professor, acting as a director (e-mail: niigpech@rihophe.ru; tel.: +7 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6223-8589>).

**Liliya A. Alikbayeva** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Common and Military Hygiene Department (e-mail: alikbaeva@mail.ru; tel.: +7 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2266-5041>).

**Irek S. Iakubova** – Doctor of Medical Sciences, Professor at the Department of Preventive Medicine and Health Protection (e-mail: yakubova-work@yandex.ru; tel.: +7 (812) 543-17-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2437-1255>).

**Anna V. Suvorova** – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Preventive Medicine and Health Protection (e-mail: suvorova-work@mail.ru; tel.: +7 (812) 543-17-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0990-8299>).

**Otari G. Khurtsilava** – Doctor of Medical Sciences, Professor, president (e-mail: rektorat@szgmu.ru; tel.: +7 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7199-671X>).

## References

1. Ladygina L.F., Galutskaya T.V., Ragozina M.A. Environmental problems of space exploration: impact of the missile and space equipment on surrounding environment. *Reshetnevskie chteniya*, 2013, vol. 2, pp. 355–356 (in Russian).
2. Baranov M.E., Dubynin P.A. The socio-ecological consequences of space-rocket activity. *Aktual'nye problemy aviat-sii i kosmonavтики*, 2018, no. 2, pp. 470–472 (in Russian).
3. Kondratyev A., Koroleva T. Liquid Propellants: Monitoring and Evaluation of Environmental Hazards. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 45–51. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-2-45-51 (in Russian).
4. Koroleva T., Krechetov P., Sharapova A., Kondratyev A. Technogenic Transformation of Terrestrial Ecosystems in the Operation of Rocket and Space Technology. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2017, vol. 21, no. 8, pp. 26–32. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-8-26-32 (in Russian).
5. Piankov E.A., Shevkunova O.I., Ufimtseva L.V. Environmental pollution by the components of propellant of "Fre-gat" booster block in case of emergency during the preparation phase and launch from the Vostochny cosmodrome. *Nauchno-tehnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke*, 2014, vol. 1, pp. 244–249 (in Russian).
6. Semenova O.N., Voronin N.F., Ivanov S.E., Chistyakov S.V. Scientific and methodical support of environmental and health physics safety of the sites of in-silo launchers after their decommissioning and remediation of lands. *Meditsina ekstremal'nykh situatsii*, 2020, vol. 22, no. 2, pp. 186–192 (in Russian).
7. Semyonova O.N., Alekhovich A.V., Kruglov A.A., Chushnyakov S.P., Livanov A.S. Organizational, toxicological and sanitary-hygienic aspects of chemical security of the territories in the zone of possible influence of the industrial enterprise. *ZNI SO*, 2015, no. 11 (272), pp. 27–30 (in Russian).
8. Semenova O.N., Ivanov S.E., Shashkova O.B., Khudyakova O.M., Smirnova S.V. The contents of heavy metals in the soil of the residential area of the CTF Tsiolkovsky at the initial stage of operation of the Vostochny cosmodrome. *Meditsina ekstremal'nykh situatsii*, 2020, vol. 22, no. 1, pp. 75–83 (in Russian).
9. Semenova O.N., Ivanov S.E., Chistyakov S.V., Ryabova T.V. Monitoring results of hazardous chemical factors of the environment around the "Vostochny" cosmodrome at the initial stage of its operation. *Amurskii meditsinskii zhurnal*, 2018, no. 3 (23), pp. 14–19. DOI: 10.22448/AMJ.2018.3.14-19 (in Russian).
10. Zyablitskaya A.N., Shchuchinov L.V., Alekseev V.B., Nurislamova T.V. Ekologicheskoe soprovozhdenie na terri-torii Respubliki Altai puskov raket-nositeli «Proton» s kosmodroma Baikonur [Environmental support in the Altai Republic of launches of the Proton launch vehicle from the Baikonur cosmodrome]. *Analiz riska zdorov'yu – 2020 sovmestno s mezhdunarodnoi vstrechei po okruzhayushchei srede i zdorov'yu RISE-2020 i kruglym stolom po bezopasnosti pitaniya: materialy X Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*: in 2 volumes. In: A.Yu. Popova, N.V. Zaitseva eds. Perm, Perm National Research Polytechnic University Publ., 2020, vol. 1, pp. 243–249 (in Russian).
11. Shchuchinov L.V., Zyablitskaya A.N., Alekseev V.B., Nurislamova T.V. Osobennosti monitoringa vliyaniya raketno-kosmicheskoi deyatel'nosti na zdorov'e naseleniya i okruzhayushchuyu sredu Respubliki Altai [Features of monitoring the impact of rocket and space activities on the population health and the environment of the Altai Republic]. *Aktual'nye voprosy analiza riska pri obespechenii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya i zashchity prav potrebiteli: materialy VIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. In: A.Yu. Popova, N.V. Zaitseva eds. Perm, 2018, pp. 257–261 (in Russian).
12. Polyakov A.D., Kombarova M.Yu. Obespechenie bezopasnosti okruzhayushchei sredy kak kompleksnaya gigienicheskaya problema pri ekspluatatsii raketno-kosmicheskoi tekhniki [Ensuring environmental safety as a complex hygienic problem of rocket and space technology]. *Razvivaya vekovye traditsii, obespechivaya "sanitarnyi shchit" strany: materialy XIII Vserossiiskogo s"ezda gigienistov, toksikologov i sanitarnykh vrachei s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennogo 100-letiyu osnovaniya Gosudarstvennoi sanitarno-epidemiologicheskoi sluzhby Rossii*. In: A.Yu. Popova, S.V. Kuzmin eds. Mytishchi, Federal Scientific Center for Hygiene named after. F.F. Erisman Publ., 2022, vol. 2, pp. 168–172 (in Russian).
13. Puzanov A.V., Kirillov V.V., Bezmaternykh D.M., Alekseev I.A., Vdovina O.N., Ermolaeva N.I., Zarubina E.Yu., Vinokurova G.V. [et al.]. Ecological status of streams in the area of the Vostochny cosmodrome. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2017, no. 2, pp. 66–72. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(66-72) (in Russian).
14. Koroleva T.V., Sharapova A.V., Krechetov P.P. A chemical composition of snow on areas exposed to space-rocket activities pollution (Altai republic). *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 5, pp. 432–437. DOI: 10.1882/0016-9900-2017-96-5-432-437 (in Russian).
15. Puzanov A.V., Sambros V.V., Alekseev I.A., Bezmaternykh D.M. Landshafty territorii kosmodroma «Vostochnyi» i ikh antropogennaya transformatsiya [Landscapes of the territory of the Vostochny cosmodrome and their anthropogenic transformation]. Barnaul, OOO «Pyat' plyus» Publ., 2018, 227 p. (in Russian).
16. Yaguzhinskii L.S., Manukhov I.V., Vagapova E.R., Kassenikh A.G., Konopleva M.N., Zavil'gel'skii G.B., Kotova V.Yu., Bruskov V.I. [et al.]. Eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya nizkikh kontsentratsii heptila i produktov ego gidroliza na vodu i biologicheskie ob'ekty [Experimental studies of the influence of low concentrations of heptyl and its hydrolysis products on water and biological objects]. In: Doctor of Chemical Sciences, Prof. L.S. Yaguzhinskii ed. Moscow, Interdisciplinary Center for Fundamental Research MIPT Publ., 2015, 230 p. (in Russian).
17. Shpigun O.A., Kondratev A.D. Estimation peculiarities low concentration of unsymmetrical dimethylhydrazine influence on environment during exploration of rocket equipment. *Ekologicheskii vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva*, 2004, no. 4, pp. 59–63 (in Russian).
18. Kolyado I.B., Plugin S.V., Tribunsky S.I., Karpenko A.A. The dynamics of the prevalence of diseases of the circulatory system among the population of the Altai territory, living in the zone of influence of rocket and space activities. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, no. 6, pp. 353–358. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-6-353-358 (in Russian).

19. Meshkov N.A., Valtseva E.A., Kharlamova E.N., Kulikova A.Z. Real and unreal backlashes of aerospace activity for the health of population residing near areas of fall of being separated parts of carrier rockets. *Gigiena i sanitariya*, 2015, vol. 94, no. 7, pp. 117–122 (in Russian).
20. Kolyado I.B., Plugin S.V., Shoikhet Ya.N. Population health in the Altai krai territories adjacent to the areas of falling of separable parts of rocket engines. A comparative study of health indexes. *Byulleten' nauki i praktiki*, 2016, no. 6, pp. 115–125 (in Russian).
21. Skrebtsova N.V., Sovershaeva S.L., Pavlova E.A. Kharakteristika i analiz dinamiki smertnosti naseleniya, prozhivayushchego vblizi raionov padeniya otdelyayushchikhsya chastei raket-nositelei [Characteristics and analysis of the dynamics of mortality among population living near the fall areas of the separated parts of launch vehicles]. *ZNiSO*, 2005, no. 5 (146), pp. 30–32 (in Russian).
22. Sidorov P.I., Skrebtsova N.V., Sovershaeva S.L. Human health in the space rocket-making areas: medical and environmental aspects. *Gigiena i sanitariya*, 2006, no. 3, pp. 11–15.
23. Alekseev I.A., Alekhnovich A.V., Meredelina T.A., Karatsuba L.P., Shchiptsova E.A., Kruglov A.A. The content of heavy metals in soil and ground of natural-anthropogenic complexes and launching area of the cosmodrome "Vostochny". *Meditina ekstremal'nykh situatsii*, 2016, no. 3 (57), pp. 70–76 (in Russian).
24. Polyakov A.D., Kombarova M.Yu., Salnikov A.A. Hygienic aspects of water use of the population of the territory in the zone of influence of the Vostochny cosmodrome. *Sanitarnyi vrach*, 2023, no. 1, pp. 26–35. DOI: 10.33920/med-08-2301-03 (in Russian).
25. Kombarova M.Yu., Polyakov A.D. Gigienicheskaya otsenka zagryaznennosti pochvy v zone vliyaniya kosmodroma «Vostochnyi» [Hygienic assessment of soil contamination in the zone influenced by the Vostochny cosmodrome]. *Profilakticheskaya meditsina – 2020: sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Saint Petersburg, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov Publ., 2020, pt 1, pp. 209–212 (in Russian).

Polyakov A.D., Kombarova M.Yu., Radilov A.S., Alikbaeva L.A., Iakubova I.S., Suvorova A.V., Khurtsilava O.G. Assessment of the health risk for people residing on the territory influenced by the Vostochny cosmodrome under multi-factor and multi-environment exposure to chemicals. *Health Risk Analysis*, 2024, no. 2, pp. 63–73. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.06.eng

Получена: 17.04.2024

Одобрена: 14.06.2024

Принята к публикации: 24.06.2024



Научная статья

## ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ, АССОЦИИРОВАННЫХ С НЕИНФЕКЦИОННЫМИ АЛИМЕНТАРНО-ЗАВИСИМЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

Н.В. Ефимова, О.Г. Богданова

Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований, Российская Федерация,  
665827, г. Ангарск, микрорайон 12а, 3

*Объектом исследования явилась смертность среди населения Иркутской области. В связи с этим оценены социально-экономические потери и эпидемиологический риск, обусловленные неинфекционными алиментарно-зависимыми заболеваниями, в том числе болезнями системы кровообращения, среди взрослого трудоспособного населения Иркутской области.*

*Исследование кросс-секционное, наблюдательное. Проанализированы сведения Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области о смертности, валовом региональном продукте, занятости населения за 2011–2020 гг. Социальный и экономический ущерб в результате преждевременной смертности населения Иркутской области рассчитан в соответствии с методическими рекомендациями по использованию показателя «Потерянные годы потенциальной жизни» для обоснования приоритетных проблем здоровья населения России на федеральном, региональном и муниципальном уровнях. Анализ был выполнен с использованием программного обеспечения Statistica 6.0.*

*Проведенная оценка показала, что за период 2011–2020 гг. в среднем удельный вес смертности от неинфекционных алиментарно-зависимых заболеваний в Иркутской области составлял 13,85 % (13,64; 14,07) от всей смертности населения. Социальные потери ежегодно в среднем составляли 154 827,00 (153 098,56; 156 555,44) не дожитых человеко-лет до конца трудоспособного возраста. Сопутствующие вероятные экономические потери в совокупности за указанный период составили от 9560,58 до 15 934,29 млн руб. Получены приемлемые модели прогноза ( $R^2 > 0,5$ ) об увеличении экономического ущерба от смертности, обусловленной неинфекционными алиментарно-зависимыми заболеваниями, среди обоих полов и мужчин Иркутской области.*

*Полученные в данном исследовании результаты показывают значимость социально-экономического ущерба от неинфекционных алиментарно-зависимых заболеваний, а также свидетельствуют о распространенности неоптимального питания среди населения Прибайкалья.*

**Ключевые слова:** алиментарно-зависимые заболевания, болезни системы кровообращения, население, питание, потерянные годы потенциальной жизни, социально-экономический ущерб, эпидемиологический риск, Иркутская область.

Социальные детерминирующие факторы [1, 2], такие как неблагоприятное влияние глобализации, быстрая незапланированная урбанизация, малоподвижный образ жизни, экономика и социальное положение, ведут к развитию распространения факторов риска неинфекционных алиментарно-зависимых заболеваний (НАЗЗ) среди населения [3–5]. Последствия вызывают тревогу в общественном здравоохранении и демографии в связи с увеличением распространенности НАЗЗ, включающих болезни системы кровообращения, онкопатологии, сахарный диабет

(тип II) и др. [6–9]. Бремя этих заболеваний чрезвычайно велико среди населения различных стран [10–14], регионов Российской Федерации [15–20], в том числе в Иркутской области (ИО) [21–23].

По данным, опубликованным в журнале Lancet, неинфекционные заболевания (НИЗ) являются причиной 73 % всех случаев глобальной смертности [9, 24]. В сложившихся условиях является весьма актуальным проведение оценки социального и экономического ущерба (СЭУ) в результате преждевременной смертности трудоспособного

© Ефимова Н.В., Богданова О.Г., 2024

**Ефимова Наталья Васильевна** – доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории эколого-гигиенических исследований (e-mail: medecolab@inbox.ru; тел.: 8 (395) 558-69-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7218-2147>).

**Богданова Ольга Георгиевна** – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории эколого-гигиенических исследований (e-mail: olga.bogdanova2001@gmail.com; тел.: 8 (395) 558-69-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2358-2280>).

населения от НАЗЗ [1, 2, 6]. Проведенный анализ научной литературы показал, что ранее подобные исследования в ИО углубленно не проводились.

**Цель исследования** – оценить социально-экономические потери и эпидемиологический риск, обусловленные неинфекционными алиментарно-зависимыми заболеваниями, в том числе болезнями системы кровообращения, среди взрослого трудоспособного населения Иркутской области.

**Материалы и методы.** Дизайн исследования – кросс-секционное, обсервационное. Нами проведен анализ уровней, динамики, структуры, а также сравнительной оценки смертности населения Иркутской области по причине НАЗЗ за 2011–2020 гг. по данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области. К нозологическим группам болезней, которые были причислены к НАЗЗ, относили только неинфекционные заболевания, где одним из ведущих факторов являлось нарушение принципов оптимального питания: смертность по причине анемий, связанных с питанием (D50–D53), болезней эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ (E05–E16, E43–E85), болезней, характеризующихся повышенным кровяным давлением (I10–I15), инфаркта миокарда (I21–I22), атеросклеротической болезни сердца (I25–I25.1), цереброваскулярных болезней (I60–I69), атеросклероза (I70), болезней органов пищеварения (K00–K29.1, K29.3–K67, K71–K85.1, K85.3–K85.9, K86.1–K93), болезней костно-мышечной системы и соединительной ткани (M05–M14, M15–M19, M60–M63, M80–M94).

Показатель «потерянные годы потенциальной жизни» (ППЖ, PYLL) рассчитан в соответствии с методическими рекомендациями по использованию показателя «Потерянные годы потенциальной жизни»<sup>1</sup>. На первом этапе по формуле (1) произвели расчеты недожитых лет для каждой возрастной когорты:

$$a_i = T - x_i, \quad (1)$$

где  $a_i$  – недожитые годы в возрастном интервале ( $i$ );

$T$  – верхний предельный возраст, до которого рассчитывается трудоспособный период;

$x_i$  – середина соответствующего возвратного интервала ( $i$ ).

ППЖ рассчитывали как сумму произведений числа умерших на недожитые годы в каждой возрастной когорте:

$$PYLL = \sum i \cdot D_i \cdot a_i, \quad (2)$$

где  $PYLL$  = ППЖ;

$D_i$  – число умерших в возрастном интервале ( $i$ );

$a$  – недожитые годы в возрастном интервале ( $i$ ).

Значения ППЖ, которые были рассчитаны для отдельной половозрастной группы, суммировали, что составило общую потерю жизненного потенциала для конкретной когорты населения. Эту сумму не дожитых человеко-лет до конца трудоспособного возраста конкретного поколения условно принято понимать как социальный ущерб.

На втором этапе по формуле (3) рассчитан относительный показатель – коэффициент ППЖ ( $PYLL$ ):

$$Rate_{PYLL} = \frac{PYLL}{P_u} \cdot 100\,000, \quad (3)$$

где  $Rate_{PYLL}$  – коэффициент ППЖ на 100 000 человек;  $P_u$  – численность изучаемого населения в возрасте от одного года до  $T$ , т.е. до окончания трудового возраста (до 60 лет у мужчин, до 55 лет у женщин).

Для минимизации влияния возрастного состава проведена стандартизация показателя ППЖ прямым методом, где за стандартную популяцию приняты данные Всероссийской переписи населения 2010 г.

На заключительном этапе по формуле (4) произведены расчеты экономического ущерба (ЭУ) в результате преждевременной смертности, основанные на измерении валового регионального продукта, который создали бы в будущем эти лица за предстоящий трудоспособный период [6, 25]. ЭУ социума от преждевременной смертности составит:

$$ЭУ = PYLL \Sigma \cdot ВРП_{тр}, \quad (4)$$

где ЭУ – экономический ущерб;

$PYLL \Sigma$  – сумма не дожитых до конца трудоспособного возраста человеко-лет;

$ВРП_{тр}$  – объем валового регионального продукта на одного занятого в общественном производстве в соответствующем году.

Анализ социально-экономических потерь вследствие влияния на смертность НАЗЗ остается весьма проблематичным в связи с полиэтиологичностью большинства нозологий и другими факторами, возникающими при проведении экономических оценок [6, 25, 26]. Для определения ущерба, обусловленного смертностью от НАЗЗ, полученные данные от всех причин смертности умножили на долю умерших в трудоспособном возрасте от НАЗЗ, обусловленных недостаточным или избыточным по

<sup>1</sup> Методические рекомендации по использованию показателя «Потерянные годы потенциальной жизни» для обоснования приоритетных проблем здоровья населения России на федеральном, региональном и муниципальном уровнях / утв. Председателем общероссийской общественной организации «Российское общество по организации здравоохранения и общественного здоровья» академиком РАН В.И. Стародубовым. – М., 2014.



сравнению с физиологическими потребностями поступлением в организм пищевых веществ согласно методическим рекомендациям<sup>2</sup>.

Среди причин смерти населения максимальный удельный вес имеют болезни системы кровообращения (I00–I99) (БСК) [6, 27]. Доля алиментарно-зависимых случаев БСК определена с помощью оценки эпидемиологического риска. На выборочных группах населения были рассчитаны показатели относительного риска (*RR*) с 95-процентным доверительным интервалом (*CI*), стандартное отклонение (*STD*), этиологическая доля (*EF*), частота события в экспонированной группе (*EER*), частота события в контрольной группе (*CER*). Для углубленного обследования случайным методом были отобраны лица из числа работников предприятий различных видов экономической деятельности, проходивших профилактический осмотр в 2021–2022 гг. в возрасте от 40 до 65 лет. В группу мужчин вошли 177 человек, в группу женщин – 93 человека. Нутритивный статус обследованных определен по индексу массы тела (*ИМТ*), энергетической и пластической ценности рациона, оцененной частотным методом по результатам анкетирования с применением автоматизированной программы «Анализ состояния питания человека» [28]. В качестве критериев включения в подгруппы с нарушением принципов здорового питания вошли лица со следующими признаками: избыточная масса тела (*ИМТ*  $\geq 25$ ) и превышение энергетической ценности потребляемого рациона над верхней границей необходимой энергетической

ценности, рассчитанной исходя из уровня физической активности. Диагноз БСК был поставлен кардиологом с проведением необходимого клинико-физикального, инструментального и лабораторного обследования в клинике ФГБНУ ВСИМЭИ<sup>3</sup>. Обследование проведено с информированного согласия пациентов и было одобрено решением этического комитета института.

Статистический анализ проводился с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.0 и стандартных программных продуктов, сопряженных с приложениями Microsoft Office (минимальные и максимальные величины, средние арифметические и их средние ошибки (*M* (доверительный интервал))). Для прогнозирования динамики показателей использовали регрессионный анализ. Для оценки данных принимался критический уровень значимости  $p < 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Показатель смертности от НАЗЗ среди взрослого трудоспособного населения ИО составил в 2020 г. 93,86, темп убыли к 2011 г. – 25,55 %. Динамика снижения в 1,57 раза отмечалась в период с 2011 до 2019 г. с 117,83 до 75,06 сл./100 тыс. соответственно, увеличившись в 1,25 раза в 2020 г.

В структуре умерших от всех причин среди населения трудоспособного возраста удельный вес умерших от НАЗЗ в ИО в среднем за период 2011–2020 гг. составил 13,85 % (13,64; 14,07), в мужской популяции – 13,58 % (13,43; 14,07), в женской – 14,75 % (14,25; 15,24) (табл. 1).

Таблица 1

Доли лиц, умерших от неинфекционных алиментарно-зависимых заболеваний в общей структуре смертности населения взрослого трудоспособного возраста в Иркутской области за 2011–2020 гг.

Показатель	Оба пола	Мужчины	Женщины
<i>M</i> <sub>2011–2020</sub> (ДИ)	13,85 (13,64; 14,07)	13,58 (13,43; 13,73)	14,75 (14,25; 15,24)
Темп прироста, убыли к 2020 г., %	-7,94	-0,36	-33,86
<i>Городская местность</i>			
<i>M</i> <sub>2011–2020</sub> (ДИ)	13,47 (13,29; 13,65)	13,23 (13,06; 13,40)	14,25 (13,81; 14,70)
Темп прироста, убыли к 2020 г., %	-4,42	4,47	-34,92
<i>Сельская местность</i>			
<i>M</i> <sub>2011–2020</sub> (ДИ)	14,31 (14,01; 14,62)	13,98 (13,75; 14,21)	15,43 (14,82; 16,03)
Темп прироста, убыли к 2020 г., %	-12,48	-6,22	-34,04
<i>p</i> (между местностями)	0,158	0,124	0,345
<i>p</i> (между мужчинами и женщинами)	0,178		
<i>p</i> (между мужчинами и женщинами в городской местности)	0,202		
<i>p</i> (между мужчинами и женщинами в сельской местности)	0,181		

Примечание: статистическая значимость различий по *t*-критерию Стьюдента при  $p < 0,05$ .

<sup>2</sup> Российское общество профилактики неинфекционных заболеваний (РОПНИЗ). Алиментарно-зависимые факторы риска хронических неинфекционных заболеваний и привычки питания: диетологическая коррекция в рамках профилактического консультирования: методические рекомендации / О.М. Драпкина, Н.С. Карамнова, А.В. Концевая, Б.Э. Горный, В.А. Дадаева, Л.Ю. Дроздова, Р.А. Еганян, С.О. Елиашевич [и др.] // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2021. – Т. 20, № 5. – С. 2952. DOI: 10.15829/1728-8800-2021-2952

<sup>3</sup> Главный врач д-р мед. наук, проф. Е.В. Катаманова.

Сравнительный анализ в зависимости от места проживания и гендерного признака показал, что статистически значимых различий между городской и сельской местностью, а также между мужской и женской популяциями нет ( $p > 0,05$ ).

Динамика доли умерших от НАЗЗ среди трудоспособного населения имела тенденцию к снижению к 2020 г., по сравнению с 2011 г., темп убыли среди обоих полов составил -7,94 % и варьировался от -12,48 % в сельской местности до -4,42 % в городской местности, среди женщин – -33,86 % (от -34,92 % в городской местности до -34,04 % в сельской), среди мужчин – -0,36 %, в том числе у мужчин в сельской местности – -6,22 %. Исключение отмечалось среди мужчин, проживающих в городских населенных пунктах, где темп прироста доли умерших от НАЗЗ составил 4,47 %.

В связи с тем, что, по данным [6, 8], наибольшую долю в структуре НАЗЗ занимают БСК, нами рассмотрены показатели смертности от данной нозологии. За период 2011–2020 гг. удельный вес умерших от БСК в трудоспособном возрасте в структуре смертности от НАЗЗ в среднем составил 53,59 % (49,05; 58,12), в том числе в мужской популяции – 57,55 % (52,82; 62,27), в женской – 41,35 % (37,94; 44,76). При этом минимальный удельный вес среди обоих полов наблюдался в 2015 г. – 43,62 %, максимальный – в 2019 г. – 63,02 %, аналогичная тенденция отмечалась в мужской популяции в 2015 г. – 46,67 %, в 2019 г. – 67,65 %. В женской популяции пики минимального и максимального удельного веса БСК в структуре смертности от НАЗЗ были смещены во времени по сравнению с мужской популяцией: в 2014 г. – 32,57 %, в 2017 г. – 50,77 % соответственно.

Удельный вес умерших от БСК в трудоспособном возрасте от всех причин смертности в трудоспособном возрасте в среднем за 2011–2020 гг. составил 7,36 % (7,25; 7,47), в том числе в мужской популяции – 7,78 % (7,62; 7,94), в женской – 6,0 % (5,87; 6,13). Темп прироста к 2020 г. составил среди обоих полов 7,38 %, среди мужчин – 16,19 %. Среди женщин отмечается снижение, темп убыли составил -36,63 %.

За анализируемый 10-летний период минимальные доли умерших от БСК среди обоих полов наблюдались в 2014 г. – 6,44 %, максимальные – в 2018 г. – 8,93 %; среди мужчин – 6,74 % в 2014 г. и 8,93 % в 2018 г.; среди женщин – 4,98 % в 2019 г. и 7,21 % в 2011 г. В динамике по периодам доля умерших мужчин от БСК в 2018–2020 гг. превышала в 1,16 раза аналогичный показатель 2011–2013 гг. и составила 8,52 (8,25; 8,78) и 7,34 (7,03; 7,66) соответственно ( $p = 0,033$ ). В женской популяции отмечалась противоположная ситуация: доля умерших женщин в 2018–2020 гг. была меньше в 1,26 раза аналогичного показателя 2011–2013 гг. – 5,29 (5,08; 5,49) и 6,68 (6,37; 6,99) соответственно ( $p = 0,013$ ) и в 1,14 раза – показателя 2014–2017 гг. – 6,03 (5,83; 6,23) ( $p = 0,048$ ). Остальные показатели стабилизи-

ровались и не имели статистической значимости ( $p > 0,05$ ).

Из представленных в табл. 2 данных за период 2011–2020 гг. прослеживается превалирование ППЖ (PYLL) от всех причин смертности среди мужской популяции трудоспособного возраста, которые в 3,70 раза превышают аналогичный показатель в женской популяции.

В динамике ППЖ за период 2011–2020 гг. имели тенденцию к снижению на рассматриваемой территории, темп убыли составил от -50,75 % среди мужчин до -35,11 % среди женщин. Максимальный показатель ППЖ зарегистрирован в 2011 г., который составил 187 808 человеко-лет. Темп убыли доли ППЖ в женской популяции меньше, по сравнению с таковым в мужской, в 1,45 раза.

Анализ стандартизованных показателей ППЖ показал, что потери лет жизни среди населения ИО в среднем за период 2011–2020 гг. в 1,89 раза выше, по сравнению с аналогичным показателем по Российской Федерации, используемым в качестве стандарта (данные Всероссийской переписи населения 2010 г.), в том числе среди мужской популяции – в 1,68 раза, женской – в 0,38 раза. При этом темп убыли ППЖ к 2020 г., по сравнению с 2011 г., составил -12,93 %, в том числе у мужчин – -16,89 %, женщин – -4,90 %.

Как следует из данных табл. 3, в среднем ЭУ в совокупности от всех причин смертности за период 2011–2020 гг. составил 82 168,77 (78 696,64; 85 640,89) млн руб., в мужской популяции – 66 251,43 (63 510,91; 68 991,96) млн руб., в женской – 15 917,33 (15 180,33; 16 654,33) млн руб. При сравнении средних показателей ЭУ от всех причин смертности по периодам 2011–2013, 2014–2017 и 2018–2020 гг. отмечалось последовательное увеличение данного показателя ( $p < 0,05$ ).

Результаты проведенного анкетирования в выборочной группе обследованных позволили выявить частоту нарушений принципов здорового питания, которая у мужчин составила 93,39 % и у женщин – 83,57 %. Отмечено преобладание в рационе липидного компонента у мужчин и углеводного компонента у женщин. ИМТ превышал 25,0 кг/м<sup>2</sup> у 78,56 % мужчин и 74,19 % женщин. Среди обследованных мужчин распространенность БСК составила 29,30 %, причем у лиц с избыточной массой тела и ожирением (ИМТ<sub>иО</sub>) данный показатель составил 32,0 %, у лиц с нормальной массой тела (НМТ) показатель был в 1,65 раза ниже – 19,39 %.

Относительный риск (RR) БСК у мужчин составил 1,977 (1,279; 3,056), EF = 49,4 % (табл. 4). Среди обследованных женщин распространенность БСК составила 47,83 %, причем у лиц с ИМТ<sub>иО</sub> данный показатель составил 63,24 %, у женщин с НМТ – в 3,79 раза ниже – 16,67 %. Относительный риск (RR) БСК составил 3,692 (1,479; 9,219), EF = 72,9 %. Таким образом, частота выявления риска нарушений нутритивного статуса у мужчин с БСК составила 33,2 %, у женщин с БСК – 61,5 %.

Таблица 2

## Социальный ущерб от всех причин смертности в Иркутской области

Год	Потерянные годы потенциальной жизни населения трудоспособного возраста, абсолютное число		
	оба пола	мужчины	женщины
2011	187808	149478	38330
2012	182394	145306	37088
2013	178035	140903	37132
2014	176879	140070	36809
2015	168305	131582	36723
2016	147948	115795	32153
2017	129933	101526	28407
2018	127867	100771	27096
2019	121579	94061	27518
2020	127522	99153	28369
$M_{2011-2020}$ (ДИ)	154827,00 (153098,56; 156555,44)	121864,50 (120438,99; 123290,01)	32962,50 (32655,50; 33269,50)
Темп прироста, убыли к 2020 г., %	-47,27	-50,75	-35,11

Таблица 3

## Экономический ущерб от смертности, обусловленной болезнями системы кровообращения среди населения Иркутской области в трудоспособном возрасте за 2011–2020 гг., млн руб.

Год	Экономический ущерб от всех причин смертности			Доля умерших от БСК, %			Экономический ущерб от БСК		
	оба пола	мужчины	женщины	оба пола	мужчины	женщины	оба пола	мужчины	женщины
$M_{2011-2013}$ (ДИ)	59766,19 (55758,04; 63774,35)	48600,06 (45255,44; 51944,67)	11166,14 (10501,92; 11830,35)	7,19 (6,98; 7,40)	7,34 (7,03; 7,66)	6,68 (6,37; 6,99)	4328,48 (3905,73; 4751,24)	3585,25 (3181,25; 3989,26)	743,23 (718,79; 767,67)
$M_{2014-2017}$ (ДИ)	84135,37 (82629,72; 85641,02)	67793,23 (66680,54; 68905,92)	16342,14 (15924,81; 16759,46)	7,20 (6,81; 7,58)	7,55 (7,10; 8,01)	6,03 (5,83; 6,23)	6114,46 (5718,18; 6510,74)	5126,71 (4773,36; 5480,06)	987,75 (930,70; 1044,80)
$M_{2018-2020}$ (ДИ)	101949,20 (99599,37; 104299,03)	81847,08 (79900,58; 83793,57)	20102,12 (19444,09; 20760,15)	7,75 (7,48; 8,01)	8,52 (8,25; 8,78)	5,29 (5,08; 5,49)	8032,69 (7700,86; 8364,52)	6971,69 (6667,19; 7276,20)	1061,00 (1030,65; 1091,35)
$M_{2011-2020}$ (ДИ)	82168,77 (78696,64; 85640,89)	66251,43 (63510,91; 68991,96)	15917,33 (15180,33; 16654,33)	7,36 (7,25; 7,47)	7,78 (7,62; 7,94)	6,00 (5,87; 6,13)	6154,14 (5834,68; 6473,59)	5217,77 (4925,47; 5510,07)	936,37 (905,94; 966,79)
Темп прироста к 2020 г. от уровня 2011 г., %	47,78	47,15	50,36	7,38	16,19	-36,63	52,59	55,71	32,18
$p^*$	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	0,134	<b>0,033</b>	<b>0,013</b>	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>0,001</b>
$p^{**}$	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,003</b>	0,324	0,162	<b>0,048</b>	<b>0,016</b>	<b>0,012</b>	0,358
$p^{***}$	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	0,991	0,741	0,108	<b>0,026</b>	<b>0,032</b>	<b>0,019</b>

Примечание:  $p^*$  – сравнение между  $M_{2011-2013}$  и  $M_{2018-2020}$  в ИО;  $p^{**}$  – сравнение между  $M_{2014-2017}$  и  $M_{2018-2020}$  в ИО;  $p^{***}$  – сравнение между  $M_{2011-2013}$  и  $M_{2014-2017}$  в ИО.

Таблица 4

## Характеристика относительного риска болезней системы кровообращения у лиц с избыточной массой тела

Показатель	Мужчины	Женщины
Относительный риск ( $RR$ ( $CI$ ))	1,977 (1,279; 3,056)	3,692 (1,479; 9,219)
Этиологическая доля ( $EF$ )	49,4	72,9
Стандартное отклонение ( $STD$ )	0,222	0,467
Частота события в экспонированной группе ( $EER$ )	0,332	0,615
Частота события в контрольной группе ( $CER$ )	0,168	0,167

Ежегодный ущерб от смертности, обусловленной в целом НАЗЗ, в среднем за период 2011–2020 гг. составил 11 259,88 (10 829,13; 11 690,64) млн руб., в том числе среди мужской популяции – 8979,32 (8612,71; 9345,93) млн руб., женской – 2280,56 (2204,17; 2356,95) млн руб. При этом ежегодные потери от смертности, обусловленной БСК (I10–I15, I21–I22, I60–69, I70), за анализируемый период со-

ставил 6154,14 (5834,68; 6473,59) млн руб., в том числе в мужской популяции – 5217,77 (4925,47; 5510,07) млн руб., в женской – 936,37 (905,94; 966,79) млн руб. (см. табл. 3).

При сопоставлении периодов наименьший экономический ущерб от БСК среди обоих полов отмечается в период 2011–2013 гг. – 4328,48 (3905,73; 4751,24) млн руб., что меньше в 1,86 раза по сравнению с периодом 2018–2020 гг. – 8032,69 (7700,86; 8364,52) млн руб. ( $p = 0,001$ ) и в 1,41 раза – по сравнению с периодом 2014–2017 гг. – 6114,46 (5718,18; 6510,74) млн руб. ( $p = 0,026$ ). В период 2018–2020 гг. отмечался наибольший ЭУ от БСК и был больше в 1,31 раза, по сравнению с периодом 2014–2017 гг. ( $p = 0,016$ ).

Аналогичные тенденции отмечаются и в мужской популяции, где ЭУ от БСК в 2011–2013 гг. составил 3585,25 (3181,25; 3989,26), что меньше в 1,94 раза аналогичного показателя в 2018–2020 гг. – 6971,69 (6667,19; 7276,20) млн руб. ( $p = 0,002$ ) и в 1,43 раза показателя в 2014–2017 гг. – 5126,71 (4773,36; 5480,06) млн руб. ( $p = 0,032$ ). Также в период 2018–2020 гг. отмечался наибольший ЭУ от БСК в мужской популяции и был больше в 1,36 раза, по сравнению с периодом 2014–2017 гг. ( $p = 0,012$ ).

В женской популяции в 2011–2013 гг. отмечен наименьший ЭУ от БСК, который составил 743,23 (718,79; 767,67), что больше в 1,43 раза, по сравнению с периодом 2018–2020 гг. – 1061,00 (1030,65; 1091,35) ( $p = 0,001$ ), и в 1,33 раза, по сравнению с периодом 2014–2017 гг., – 987,75 (930,70; 1044,80) ( $p = 0,019$ ). При сопоставлении показателей 2014–2017 и 2018–2020 гг. ЭУ от БСК среди женщин не имел статистически значимых различий ( $p > 0,05$ ).

Прогнозирование по регрессионным моделям показало увеличение экономического ущерба от смертности, обусловленной НАЗЗ в трудоспособном возрасте, среди обоих полов ( $y = 6E+08x + 8E+09$ ;  $R^2 = 0,6411$ ) и в мужской популяции ( $y = 5E+08x + 6E+09$ ;  $R^2 = 0,7046$ ) к 2025 г. (рисунок). Вероятно,

это связано с более низкими темпами снижения доли смертности от НАЗЗ к 2020 г. (-7,94 % среди обоих полов, -0,36 % среди мужчин) и доли занятых в общественном производстве из трудоспособных (-10,42 % среди мужчин). В женской популяции модели прогноза не имели признаков достоверности ( $R^2 < 0,5$ ). К 2025 г., согласно полученным моделям прогноза, ожидается прирост ЭУ среди обоих полов на 17,94 % к уровню 2020 г. – до 16 781,2 млн руб., в том числе среди мужчин – на 15,02 % (до 13 905,9 млн руб.), среди женщин – 2,74 % (до 2875,3 млн руб.).

Наиболее низкие значения ЭУ от НАЗЗ отмечались в 2011–2013 гг., однако сложившаяся ситуация в ИО не может рассматриваться как благоприятная, так как в данный период отмечались наиболее низкие значения объема валового регионального продукта. При этом доля смертности от НАЗЗ, ПГПЖ и доля занятого населения трудоспособного возраста были наиболее высокими. В период 2018–2020 гг. отмечалось увеличение ЭУ от смертности, обусловленной НАЗЗ. Данный показатель имел наиболее высокие значения, несмотря на снижение количества потерянных лет потенциальной жизни. Сформировавшаяся ситуация обусловлена снижением численности населения трудоспособного возраста и долей занятого населения в общественном производстве из числа трудоспособных.

По мнению авторов [6–8, 29], вклад питания в развитие болезней сердечно-сосудистой системы, диабета, остеопороза, ожирения, некоторых форм рака составляет от 30 до 50 %. Отметим, что, по данным нашего исследования, этиологическая доля развития БСК, обусловленная нарушениями принципов здорового питания, выше у женщин, чем у мужчин (72,9 против 49,4 %). Данный факт может быть связан с большим значением для мужчин таких факторов риска, как курение и производственные факторы, приводящих к эндотелиальной дисфункции, зависимость ангиотензин-рениновой системы

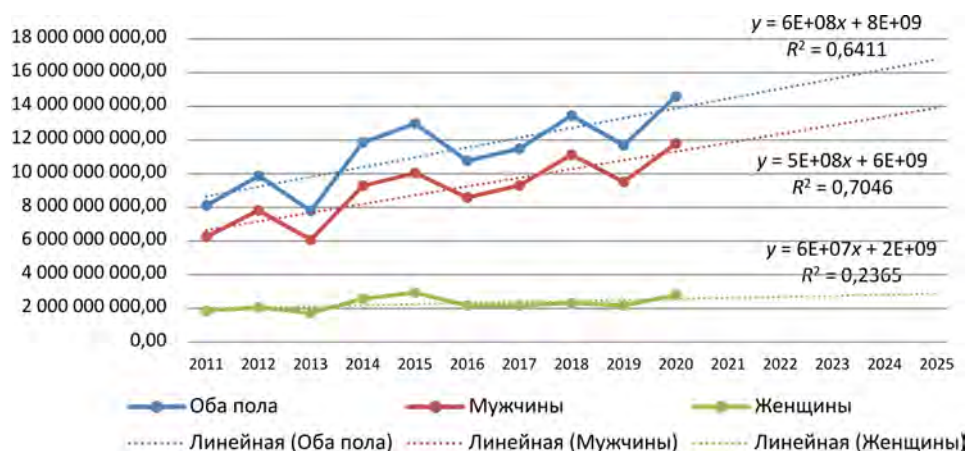


Рис. Экономический ущерб от смертности, обусловленной алиментарно-зависимыми заболеваниями в трудоспособном возрасте в Иркутской области, руб.

от уровня тестостерона [30]. В связи с чем вероятный ЭУ от НАЗЗ, обусловленный неоптимальным питанием, суммарно за период 2011–2020 гг. составит среди обоих полов от 33 779,65 до 56 299,42 млн руб., в мужской популяции – от 26 937,97 до 44 896,61 млн руб., в женской – от 6841,68 до 11 402,81 млн руб. с учетом занятости анализируемой когорты населения. В структуре ЭУ от НАЗЗ доля БСК составляет 54,66 % среди обоих полов, в мужской популяции – 58,11 %, в женской – 41,06 %. В связи с этим нами произведен расчет ЭУ по данной нозологии с учетом эпидемиологического риска влияния неоптимального питания и исходя из данных выборочной когорты населения с установленным диагнозом БСК, который ежегодно в период 2011–2020 гг. составил 2308,17 млн руб., в том числе в мужской популяции – 1732,30 млн руб., в женской – 575,87 млн руб.

В целом результаты исследования сопоставимы с мнениями отечественных [6–8] и зарубежных [4, 5, 11] ученых о том, что глобальный всплеск НАЗЗ отрицательно влияет на общее состояние общественного здоровья, системы здравоохранения и экономику. По данным О.М. Драпкиной с соавт. (2021), ЭУ, обусловленный затратами на госпитализацию и лечение пациентов с хронической сердечной недостаточностью, составил 81,86 млрд руб., родственный уход – 72,4 млрд руб. ежегодно. Полученные нами результаты дополняют сведения о существенном бремени НАЗЗ и распространенности неоптимального питания среди населения Прибайкалья, так как аналогичная оценка проведена в Республике Бурятия [31]. Для решения этих проблем потребуется система мероприятий, включающих снижение влияния ключевых алиментарно-обус-

ловленных факторов риска, усиление выявления НАЗЗ на ранних стадиях и образовательные мероприятия, ориентированные на взрослое и детское население для повышения их информированности в области здорового питания.

Ограничения исследования связаны с общими проблемами, характерными для анализа статических данных. При изучении смертности за 2020 г. не учитывались диагнозы, обусловленные воздействием новой коронавирусной инфекции. При расчете ЭУ использовались средние уровни ВРП региона.

**Выводы.** Обследование взрослого трудоспособного населения ИО свидетельствует о высокой распространенности нарушений принципов здорового питания, НАЗЗ, в том числе БСК. Доля умерших от БСК в трудоспособном возрасте в структуре смертности от НАЗЗ в среднем за 2011–2020 гг. составила 53,59 % (49,05; 58,12), в том числе в мужской популяции – 57,55 % (52,82; 62,27), в женской – 41,35 % (37,94; 44,76). Выявлено повышение относительного риска БСК в группах лиц с преобладанием в рационе липидного компонента ( $RR = 1,997$  у мужчин,  $RR = 3,692$  у женщин), этиологическая доля составила 49,4 и 72,9 % соответственно. Указанное обусловило социально-экономические потери, связанные с количеством недожитых человеко-лет за период 2011–2020 гг. – 68 945, в том числе в мужской популяции – 56 252, в женской – 12 693, и экономическим ущербом 61 541,35 млн руб., ассоциированным со смертностью от БСК.

**Финансирование.** Исследование выполнено в рамках бюджетной НИР.

**Конфликт интересов.** Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Зайцева Н.В., Клейн С.В., Глухих М.В. Определение приоритетных социально-гигиенических детерминант ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации // *Здравоохранение Российской Федерации*. – 2022. – Т. 66, № 6. – С. 435–443. DOI: 10.47470/0044-197X-2022-66-6-435-443
2. Щепин В.О., Шишкин Е.В. Основы расчета экономических потерь в результате смертности трудоспособного населения // *Здравоохранение Российской Федерации*. – 2018. – Т. 62, № 6. – С. 284–288. DOI: 10.18821/0044-197X-2018-62-6-284-288
3. Нутриом как направление «главного удара»: определение физиологических потребностей в макро- и микронутриентах, минорных биологически активных веществах пищи / В.А. Тутельян, Д.Б. Никитюк, А.К. Батурин, А.В. Васильев, М.М.Г. Гаппаров, Н.В. Жилинская, В.М. Жминченко, А.О. Камбаров [и др.] // *Вопросы питания*. – 2020. – Т. 89, № 4. – С. 24–34. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10039
4. Towards unified and impactful policies to reduce ultra-processed food consumption and promote healthier eating / В.М. Popkin, S. Barquera, C. Corvalan, K.J. Hofman, C. Monteiro, S.W. Ng, E.C. Swart, L. Smith Taillie // *Lancet Diabetes Endocrinol.* – 2021. – Vol. 9, № 7. – P. 462–470. DOI: 10.1016/S2213-8587(21)00078-4
5. Socio-economic difference in purchases of ultra-processed foods in Australia: an analysis of a nationally representative household grocery purchasing panel / D.H. Coyle, L. Huang, M. Shahid, A. Gaines, G.L. Di Tanna, J.C.Y. Louie, X. Pan, M. Marklund [et al.] // *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* – 2022. – Vol. 19, № 1. – P. 148. DOI: 10.1186/s12966-022-01389-8
6. Социально-экономический ущерб, обусловленный хронической сердечной недостаточностью, в Российской Федерации / О.М. Драпкина, С.А. Бойцов, В.В. Омеляновский, А.В. Концевая, М.М. Лукьянов, В.И. Игнатьева, Е.В. Деркач // *Российский кардиологический журнал*. – 2021. – Т. 26, № 6. – С. 4490. DOI: 10.15829/1560-4071-2021-4490
7. Ассоциации привычек питания и употребления алкоголя с сердечно-сосудистыми заболеваниями и сахарным диабетом во взрослой популяции. Результаты эпидемиологического исследования ЭССЕ-РФ / Н.С. Карамнова, А.И. Рытова, О.Б. Швабская, Ю.К. Макарова, С.А. Максимов, Ю.А. Баланова, С.Е. Евстифеева, А.Э. Имаева [и др.] // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. – 2021. – Т. 20, № 5. – С. 2982. DOI: 10.15829/1728-8800-2021-2982

8. Первичная и повторная диспансеризация определенных групп взрослого населения: динамика алиментарно-зависимых факторов риска хронических неинфекционных заболеваний / Р.А. Еганян, А.М. Калинина, О.В. Измайлова, Д.В. Кушунина, А.С. Бунова // Профилактическая медицина. – 2019. – Т. 22, № 4. – С. 14–21. DOI: 10.17116/profmed20192204114
9. GBD 2015 Mortality and Causes of Death Collaborators. Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015 // *Lancet*. – 2016. – Vol. 388, № 10053. – P. 1459–1544. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31012-1
10. Current situation and progress toward the 2030 health-related Sustainable Development Goals in China: A systematic analysis / S. Chen, L. Guo, Z. Wang, W. Mao, Y. Ge, X. Ying, J. Fang, Q. Long [et al.] // *PLoS Med.* – 2019. – Vol. 16, № 11. – P. e1002975. DOI: 10.1371/journal.pmed.1002975
11. Rate of Nutrition-Related Chronic Diseases Among a Multi-Ethnic Group of Uninsured Adults / S. Ajabshir, S. Stumbar, I. Lachica, K. Gates, Z. Qureshi, F. Huffman // *Cureus*. – 2022. – Vol. 14, № 9. – P. e28802. DOI: 10.7759/cureus.28802
12. The Association Between Bangladeshi Adults' Demographics, Personal Beliefs, and Nutrition Literacy: Evidence From a Cross-Sectional Survey / M.H.A. Banna, M. Hamiduzzaman, S. Kundu, T. Ara, M.T. Abid, K. Brazendale, A.A. Seidu, T.R. Disu [et al.] // *Front. Nutr.* – 2022. – Vol. 9. – P. 867926. DOI: 10.3389/fnut.2022.867926
13. Tsugane S. Why has Japan become the world's most long-lived country: insights from a food and nutrition perspective // *Eur. J. Clin. Nutr.* – 2021. – Vol. 75, № 6. – P. 921–928. DOI: 10.1038/s41430-020-0677-5
14. Trans fatty acid elimination policy in member states of the Eurasian Economic Union: Implementation challenges and capacity for enforcement / A. Demin, B. Løge, O. Zhiteneva, C. Nishida, S. Whiting, H. Rippin, C. Delles, S. Karymbaeva [et al.] // *J. Clin. Hypertens. (Greenwich)*. – 2020. – Vol. 22, № 8. – P. 1328–1337. DOI: 10.1111/jch.13945
15. Попова А.Ю., Тютельян В.А., Никитюк Д.Б. О новых (2021) Нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации // *Вопросы питания*. – 2021. – Т. 90, № 4 (536). – С. 6–19. DOI: 10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19
16. Особенности химического состава рациона и пищевого статуса коренного и пришлого населения Арктики / А.К. Батурич, А.В. Погожева, Э.Э. Кешабянц, С.Х. Сото, И.В. Кобелькова, А.О. Камбаров // *Гигиена и санитария*. – 2019. – Т. 98, № 3. – С. 319–323. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-3-319-323
17. Алиментарно-зависимые заболевания населения и гигиеническая характеристика факторов риска их развития на территории Республики Татарстан / О.А. Фролова, Е.А. Тафеева, Д.Н. Фролов, Е.П. Бочаров // *Гигиена и санитария*. – 2018. – Т. 97, № 5. – С. 470–473. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-5-470-473
18. Оценка факторов риска возникновения алиментарно-зависимых заболеваний студентов в связи с условиями питания / О.В. Митрохин, А.А. Матвеев, Н.А. Ермакова, Е.В. Белова // *Анализ риска здоровью*. – 2019. – № 4. – С. 69–76. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.07
19. Коденцова В.М., Жилинская Н.В., Шпигель Б.И. Витаминология: от молекулярных аспектов к технологиям витаминизации детского и взрослого населения // *Вопросы питания*. – 2020. – Т. 89, № 4. – С. 89–99. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10045
20. Хотимченко С.А., Шарафетдинов Х.Х. О профилактике йоддефицитных состояний. Сообщение 2 // *Вопросы питания*. – 2020. – Т. 89, № 3. – С. 126–128. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10037
21. Тармаева И.Ю., Ефимова Н.В., Баглушкина С.Ю. Гигиеническая оценка питания и риск заболеваемости, связанный с его нарушением // *Гигиена и санитария*. – 2016. – Т. 95, № 9. – С. 868–872. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-9-868-872
22. Жданова-Заплесвичко И.Г. Нерациональное питание как фактор риска здоровью населения Иркутской области // *Анализ риска здоровью*. – 2018. – № 2. – С. 23–32. DOI: 10.21668/health.risk/2018.2.03
23. Оценка потерь здоровья населения старшей возрастной группы / О.В. Ушакова, Н.В. Ефимова, А.Ю. Тарасов, Е.В. Катаманова // *Гигиена и санитария*. – 2020. – Т. 99, № 10. – С. 1170–1176. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-10-1170-1176
24. Implementation of non-communicable disease policies: a geopolitical analysis of 151 countries / L.N. Allen, B.D. Nicholson, B.Y.T. Yeung, F. Goiana-da-Silva // *Lancet Glob. Health*. – 2020. – Vol. 8, № 1. – P. e50–e58. DOI: 10.1016/S2214-109X(19)30446-2
25. Социально-экономические потери вследствие смертности от алкоголь-ассоциированных причин / Б.С. Будаев, А.С. Михеев, И.Ю. Тармаева, Н.И. Хамнаева, О.Г. Богданова // *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. – 2020. – Т. 28, № 1. – С. 29–33. DOI: 10.32687/0869-866X-2020-28-1-29-33
26. Economic evaluation of nutrition interventions: Does one size fit all? / G. Fattore, C. Federici, M. Drummond, M. Mazzocchi, P. Detzel, Z.V. Hutton, B. Shankar // *Health Policy*. – 2021. – Vol. 125, № 9. – P. 1238–1246. DOI: 10.1016/j.healthpol.2021.06.009
27. Анализ показателей заболеваемости и смертности населения от болезней системы кровообращения / Б.С. Будаев, И.С. Кицул, И.Ю. Тармаева, О.Г. Богданова // *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. – 2021. – Т. 29, № 4. – С. 865–870. DOI: 10.32687/0869-866X-2021-29-4-865-870
28. Богданова О.Г., Молчанова О.А., Панков В.А. Оценка питания и рисков развития основных общепатологических синдромов у работающих на промышленных предприятиях // *Медицина труда и промышленная экология*. – 2023. – Т. 63, № 1. – С. 53–60. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-1-53-60
29. Роль консультативно-диагностических центров «Здоровое питание» в диагностике и алиментарной профилактике неинфекционных заболеваний / А.В. Погожева, Е.Ю. Сорокина, А.К. Батурич, Е.В. Пескова, О.Н. Макурина, Л.Г. Левин, С.Х. Сото, Т.В. Аристархова [и др.] // *Вопросы питания*. – 2014. – Т. 83, № 6. – С. 52–57. DOI: 10.24411/0042-8833-2014-00061



30. World Health Organization. The health and well-being of men in the WHO European Region: better health through a gender approach [Электронный ресурс] // WHO. – 2018. – URL: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053532> (дата обращения: 29.05.2024).

31. Богданова О.Г. Оценка социально-экономического ущерба, обусловленного алиментарно-зависимыми болезнями населения // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102, № 12. – С. 1354–1360. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-12-1354-1360

*Ефимова Н.В., Богданова О.Г. Оценка риска здоровью и социально-экономических потерь, ассоциированных с неинфекционными алиментарно-зависимыми заболеваниями // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 74–84. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.07*

UDC 613.21: 616.056.5+613.6.027  
DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.07.eng



Research article

## ASSESSMENT OF HEALTH RISK AND SOCIO-ECONOMIC LOSSES ASSOCIATED WITH NUTRITION-RELATED NON-COMMUNICABLE DISEASES

**N.V. Efimova, O.G. Bogdanova**

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 3 microdistrict 12a, Angarsk, 665827, Russian Federation

*Mortality among the Irkutsk region population was chosen as a research object. The aim of this study was to assess socioeconomic losses and the epidemiological risk caused by nutrition-related non-communicable diseases, including diseases of the circulatory system, among adult working age population in the Irkutsk region.*

*The study was cross-sectional and observational. We analyzed data on mortality, gross regional product and employment provided by the Territorial office of the Federal State Statistic Service in the Irkutsk region over 2011–2020. Social and economic losses caused by early mortality among the population in the Irkutsk region were calculated in accordance with the Methodical Guidelines on using the Potential years of life lost (PYLL) indicator to establish priority health issues of the Russian population at the federal, regional and municipal level. Data were analyzed using Statistica 6.0.*

*The assessment revealed that over 2011–2020 mortality caused by nutrition-related non-communicable diseases on average accounted for 13.85 % (13.64; 14.07) of the overall population mortality. Average annual social losses equaled 154,827.00 (153,098.56; 156,555.44) person-years lost before a person reached the end of working age. Accompanying probable economic losses aggregated over the analyzed period ranged between 9,560.58 and 15,934.29 million rubles. We managed to build acceptable predictive models ( $R^2 > 0.5$ ) on the growth in economic losses due to mortality caused by nutrition-related non-communicable diseases for both sexes and for males living in the Irkutsk region.*

*Our findings highlight the significance of socioeconomic losses caused by nutrition-related non-communicable diseases and give evidence of suboptimal diets being widely spread among the population of the Baikal region.*

**Keywords:** *nutrition-related diseases, diseases of the circulatory system, population, nutrition, potential years of life lost, socioeconomic losses, epidemiological risk, Irkutsk region.*

## References

1. Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Glukhikh M.V. Determining priority socio-hygienic determinants of life expectancy at birth for the Russian Federation population. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*, 2022, vol. 66, no. 6, pp. 435–443. DOI: 10.47470/0044-197X-2022-66-6-435-443 (in Russian).

© Efimova N.V., Bogdanova O.G., 2024

**Natalia V. Efimova** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Leading Researcher at the Laboratory of Ecological and Hygienic Research (e-mail: [medecolab@inbox.ru](mailto:medecolab@inbox.ru); tel.: +7 (395) 558-69-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7218-2147>).

**Olga G. Bogdanova** – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Ecological and Hygienic Research (e-mail: [olga.bogdanova2001@gmail.com](mailto:olga.bogdanova2001@gmail.com); tel.: +7 (395) 558-69-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2358-2280>).

2. Shchepin V.O., Shishkin E.V. The basics of calculating the economic losses due to mortality of the working-age population. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*, 2018, vol. 62, no. 6, pp. 284–288. DOI: 10.18821/0044-197X-2018-62-6-284-288 (in Russian).
3. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B., Baturin A.K., Vasiliev A.V., Gapparov M.M.G., Zhilinskaya N.V., Zhminchenko V.M., Kambarov A.O. [et al.]. Nutriome as the direction of the “main blow”: determination of physiological needs in macro and micronutrients, minor biologically active substances. *Voprosy pitaniya*, 2020, vol. 89, no. 4, pp. 24–34. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10039 (in Russian).
4. Popkin B.M., Barquera S., Corvalan C., Hofman K.J., Monteiro C., Ng S.W., Swart E.C., Smith Taillie L. Towards unified and impactful policies to reduce ultra-processed food consumption and promote healthier eating. *Lancet Diabetes Endocrinol.*, 2021, vol. 9, no. 7, pp. 462–470. DOI: 10.1016/S2213-8587(21)00078-4
5. Coyle D.H., Huang L., Shahid M., Gaines A., Di Tanna G.L., Louie J.C.Y., Pan X., Marklund M. [et al.]. Socio-economic difference in purchases of ultra-processed foods in Australia: an analysis of a nationally representative household grocery purchasing panel. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.*, 2022, vol. 19, no. 1, pp. 148. DOI: 10.1186/s12966-022-01389-8
6. Drapkina O.M., Boytsov S.A., Omelyanovskiy V.V., Kontsevaya A.V., Loukianov M.M., Ignatieva V.I., Derkach E.V. Socio-economic impact of heart failure in Russia. *Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal*, 2021, vol. 26, no. 6, pp. 4490. DOI: 10.15829/1560-4071-2021-4490 (in Russian).
7. Karamnova N.S., Rytova A.I., Shvabskaya O.B., Makarova Yu.K., Maksimov S.A., Balanova Yu.A., Evstifeeva S.E., Imaeva A.E. [et al.]. Associations of eating and drinking habits with cardiovascular disease and diabetes in the adult population: data from the ESSE-RF epidemiological study. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, 2021, vol. 20, no. 5, pp. 2982. DOI: 10.15829/1728-8800-2021-2982 (in Russian).
8. Eganian R.A., Kalinina A.M., Izmailova O.V., Kushunina D.V., Bunova A.S. Primary and repeated prophylactic medical examination of certain adult population groups: changes in diet-related risk factors for non-communicable diseases. *Profilakticheskaya meditsina*, 2019, vol. 22, no. 4, pp. 14–21. DOI: 10.17116/profmed20192204114 (in Russian).
9. GBD 2015 Mortality and Causes of Death Collaborators. Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet*, 2016, vol. 388, no. 10053, pp. 1459–1544. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31012-1
10. Chen S., Guo L., Wang Z., Mao W., Ge Y., Ying X., Fang J., Long Q. [et al.]. Current situation and progress toward the 2030 health-related Sustainable Development Goals in China: A systematic analysis. *PLoS Med.*, 2019, vol. 16, no. 11, pp. e1002975. DOI: 10.1371/journal.pmed.1002975
11. Ajabshir S., Stumbar S., Lachica I., Gates K., Qureshi Z., Huffman F. Rate of Nutrition-Related Chronic Diseases Among a Multi-Ethnic Group of Uninsured Adults. *Cureus*, 2022, vol. 14, no. 9, pp. e28802. DOI: 10.7759/cureus.28802
12. Banna M.H.A., Hamiduzzaman M., Kundu S., Ara T., Abid M.T., Brazendale K., Seidu A.A., Disu T.R. [et al.]. The Association Between Bangladeshi Adults' Demographics, Personal Beliefs, and Nutrition Literacy: Evidence From a Cross-Sectional Survey. *Front. Nutr.*, 2022, vol. 9, pp. 867926. DOI: 10.3389/fnut.2022.867926
13. Tsugane S. Why has Japan become the world's most long-lived country: insights from a food and nutrition perspective. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2021, vol. 75, no. 6, pp. 921–928. DOI: 10.1038/s41430-020-0677-5
14. Demin A., Løge B., Zhitenova O., Nishida C., Whiting S., Rippin H., Delles C., Karymbaeva S. [et al.]. Trans fatty acid elimination policy in member states of the Eurasian Economic Union: Implementation challenges and capacity for enforcement. *J. Clin. Hypertens. (Greenwich)*, 2020, vol. 22, no. 8, pp. 1328–1337. DOI: 10.1111/jch.13945
15. Popova A.Yu., Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. On the new (2021) Norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation]. *Voprosy pitaniya*, 2021, vol. 90, no. 4 (536), pp. 6–19. DOI: 10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19 (in Russian).
16. Baturin A.K., Pogozheva A.V., Keshabyants E.E., Soto S.H., Kobelkova I.V., Kambarov A.O. Features of the chemical composition of the diet and nutritional status of indigenous and newcomers in the Russian Arctic. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 3, pp. 319–323. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-3-319-323 (in Russian).
17. Frolova O.A., Tafeeva E.A., Frolov D.N., Bocharov E.P. Alimentary-dependent diseases of the population and the hygienic characteristic of the factors of the risk of their development in the territory of the Republic of Tatarstan. *Gigiena i sanitariya*, 2018, vol. 97, no. 5, pp. 470–473. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-5-470-473 (in Russian).
18. Mitrokhin O.V., Matveev A.A., Ermakova N.A., Belova E.V. Assessing risk factors that can cause alimentary-dependent diseases among students due to their nutrition. *Health Risk Analysis*, 2019, no. 4, pp. 69–76. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.07.eng
19. Kodentsova V.M., Zhilinskaya N.V., Shpigel B.I. Vitaminology: from molecular aspects to improving technology of vitamin status children and adults. *Voprosy pitaniya*, 2020, vol. 89, no. 4, pp. 89–99. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10045 (in Russian).
20. Khotimchenko S.A., Sharafetdinov Kh.Kh. On the prevention of iodine deficiency. Message 2. *Voprosy pitaniya*, 2020, vol. 89, no. 3, pp. 126–128. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10037 (in Russian).
21. Tarmaeva I.Yu., Efimova N.V., Baglushkina S.Yu. Hygienic estimation of the nutrition and the risk of morbidity associated with its violation. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 9, pp. 868–872. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-9-868-872 (in Russian).
22. Zhdanova-Zaplesvichko I.G. Irrational nutrition as population health risk factor in Irkutsk region. *Health Risk Analysis*, 2018, no. 2, pp. 23–32. DOI: 10.21668/health.risk/2018.2.03.eng
23. Ushakova O.V., Efimova N.V., Tarasov A.Yu., Katamanova E.V. Assessment of loss of health of the population of an older age group. *Gigiena i sanitariya*, 2020, vol. 99, no. 10, pp. 1170–1176. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-10-1170-1176 (in Russian).

24. Allen L.N., Nicholson B.D., Yeung B.Y.T., Goiana-da-Silva F. Implementation of non-communicable disease policies: a geopolitical analysis of 151 countries. *Lancet Glob. Health*, 2020, vol. 8, no. 1, pp. e50–e58. DOI: 10.1016/S2214-109X(19)30446-2
25. Budaev B.S., Mikheev A.S., Tarmaeva I.Yu., Khamnaeva N.I., Bogdanova O.G. The social economical losses because of mortality due to alcohol-associated causes. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny*, 2020, vol. 28, no. 1, pp. 29–33. DOI: 10.32687/0869-866X-2020-28-1-29-33 (in Russian).
26. Fattore G., Federici C., Drummond M., Mazzocchi M., Detzel P., Hutton Z.V., Shankar B. Economic evaluation of nutrition interventions: Does one size fit all? *Health Policy*, 2021, vol. 125, no. 9, pp. 1238–1246. DOI: 10.1016/j.healthpol.2021.06.009
27. Budaev B.S., Kitsul I.S., Tarmaeva I.Yu., Bogdanova O.G. The analysis of morbidity and mortality of population because of diseases of blood circulation system. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny*, 2021, vol. 29, no. 4, pp. 865–870. DOI: 10.32687/0869-866X-2021-29-4-865-870 (in Russian).
28. Bogdanova O.G., Molchanova O.A., Pankov V.A. Assessment of nutrition and risks of development of the main general pathological syndromes in workers at industrial enterprises. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2023, vol. 63, no. 1, pp. 53–60. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-1-53-60 (in Russian).
29. Pogozheva A.V., Sorokina E.Yu., Baturin A.K., Peskova E.V., Makurina O.N., Levin L.G., Soto S.Kh., Aristarkhova T.V. [et al.]. The role of the Consultative and Diagnostic Centre «Healthy Nutrition» in the diagnosis and nutritional prevention of non-communicable diseases. *Voprosy pitaniya*, 2014, vol. 83, no. 6, pp. 52–57. DOI: 10.24411/0042-8833-2014-00061 (in Russian).
30. World Health Organization. The health and well-being of men in the WHO European Region: better health through a gender approach. *WHO*, 2018. Available at: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053532> (May 29, 2024).
31. Bogdanova O.G. Socio-economic damage caused by nutritionally-dependent diseases of the population. *Gigiena i sanitariya*, 2023, vol. 102, no. 12, pp. 1354–1360. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-12-1354-1360 (in Russian).

*Efimova N.V., Bogdanova O.G. Assessment of health risk and socio-economic losses associated with nutrition-related non-communicable diseases. Health Risk Analysis, 2024, no. 2, pp. 74–84. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.07.eng*

Получена: 15.12.2023

Одобрена: 03.06.2024

Принята к публикации: 20.06.2024



Научная статья

## РИСК МЛАДЕНЧЕСКОЙ СМЕРТНОСТИ СРЕДИ ПОТОМКОВ РАБОТНИКОВ РАДИАЦИОННО-ОПАСНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**С.Ф. Соснина, П.В. Окатенко, М.Э. Сокольников**

Южно-Уральский институт биофизики, Российская Федерация, 456783, г. Озёрск, Озёрское шоссе, 19

*Младенческая смертность является индикатором уровня здравоохранения и социального благополучия общества и может служить ценным параметром при оценке последствий воздействия производственной среды на родителей для здоровья потомков.*

*Осуществлен анализ рисков младенческой смертности в когорте первого поколения потомков работников производственного объединения (ПО) «Маяк» – первого отечественного предприятия атомной отрасли.*

*Младенческая смертность и ее компоненты проанализированы в когорте детей ( $n = 24\,780$ ), родившихся в 1949–1973 гг., из них основную группу составили 14 435 потомков работников ПО «Маяк», группу сравнения – 10 345 детей необлученных родителей. Оценены частота и относительный риск ранней и поздней неонатальной, постнеонатальной и младенческой смертности с учетом пола потомков, календарного периода, нозологий, родительского возраста, категорий накопленных доз прекоцептивного (до зачатия) облучения родителей на производстве. Относительный риск рассчитан с 95%-ным доверительным интервалом.*

*Среди потомков необлученных родителей отмечена более высокая частота постнеонатальной смертности и младенческой смертности в целом. Инфекционная патология как причина смерти до года регистрировалась среди потомков работников ПО «Маяк» статистически значимо реже, чем в группе сравнения. Младенческая смертность в основной группе была ниже в категориях возраста родителей 21–25 и 31–35 лет и среди юных отцов. Высокий уровень младенческой смертности в некоторых категориях накопленных доз производственного прекоцептивного гамма-облучения был обусловлен вкладом инфекционных нозологий. Младенческая смертность вследствие злокачественных новообразований в основной группе требует дальнейшего эпидемиологического анализа.*

*Ретроспективный анализ продемонстрировал более высокие уровни младенческой смертности и ее компонентов среди детей необлученных родителей, что, возможно, объясняется «эффектом здорового рабочего» и социальным благополучием персонала ПО «Маяк».*

**Ключевые слова:** младенческая смертность, ранняя неонатальная смертность, поздняя неонатальная смертность, постнеонатальная смертность, радиационно-опасное производство, ПО «Маяк», потомки облученных, прекоцептивное облучение, гамма-излучение, доза на гонады.

Медико-демографические показатели младенческой, детской и материнской смертности являются индикаторами здоровьесбережения населения и организации здравоохранения [1, 2]. Младенческая смертность рассматривается в качестве барометра социального благополучия общества, по уровню которой оценивается степень социально-экономического развития общества и качество жизни населения [3].

Многообразие факторов риска здоровью младенцев, в частности медико-биологических факторов, таких как акушерская и экстрагенитальная патология матерей, течение беременности и родов [4],

а также факторов, характеризующих социально-экономические условия населения [5, 6], широко представлено в публикациях. Вопросы отдаленных последствий воздействия на родителей различных техногенных факторов, включая радиацию, и связанный с ними риск мутагенных эффектов в зародышевых клетках тревожат научное сообщество в течение длительного времени [7, 8].

Особое внимание отведено радиационному воздействию как фактору, потенциально предрасполагающему к смертности в раннем возрасте. Так, существует обеспокоенность по поводу неблагоприятных исходов беременности и генетических забо-

© Соснина С.Ф., Окатенко П.В., Сокольников М.Э., 2024

**Соснина Светлана Фаридовна** – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории радиационной эпидемиологии (e-mail: sosnina@subi.su; тел.: 8 (351) 307-16-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1553-0963>).

**Окатенко Павел Викторович** – руководитель группы компьютерного и программного обеспечения лаборатории радиационной эпидемиологии (e-mail: okatenko@subi.su; тел.: 8 (351) 307-69-03; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8260-1808>).

**Сокольников Михаил Эдуардович** – доктор медицинских наук, заведующий отделом эпидемиологии (e-mail: sokolnikov@subi.su; тел.: 8 (351) 307-16-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9492-4316>).

леваний (трансгенерационных или наследственных эффектов), связанных с воздействием на население радиоактивных осадков [9]. В анализе долгосрочных тенденций уровня младенческой смертности в Соединенных Штатах и некоторых европейских странах (Франции, Великобритании, Испании, Германии и Италии) авторы предполагают, что испытания ядерного оружия в атмосфере могут быть причиной гибели нескольких миллионов младенцев в Северном полушарии [10]. Другие авторы указывают на рост перинатальных потерь в загрязненных префектурах после аварии на атомной электростанции Фукусима-Дайити в Японии в 2011 г. [11]. Между тем вопросы медицинских последствий для потомков после производственного контакта родителей с источниками ионизирующих излучений остаются предметом дискуссии [12].

Данная работа описывает ретроспективное когортное исследование смертности среди детского населения г. Озерска – закрытого административно-территориального образования (ЗАТО), расположенного вблизи первого отечественного предприятия атомной отрасли производственного объединения (ПО) «Маяк», функционирующего с 1948 г.

**Цель исследования** – анализ младенческой смертности и входящих в нее компонентов в когорте первого поколения потомков работников ПО «Маяк».

**Материалы и методы.** Источниками информации для исследования послужили следующие базы данных лаборатории радиационной эпидемиологии ЮУрИБФ: Регистр персонала ПО «Маяк»<sup>1</sup>, Детский регистр населения ЗАТО г. Озерск<sup>2</sup>, Регистр причин смерти населения г. Озерска [13] и Регистр здоровья детского населения г. Озерска [14]. Сведения о преконцептивных (до зачатия) профессиональных дозах внешнего гамма-облучения гонад получены из базы данных «Дозиметрическая система работников Маяка 2013» [15].

Группы детей для ретроспективного исследования формировались следующим образом. В основную группу вошли дети работников ПО «Маяк», рожденные в г. Озерске в 1949–1973 гг. – 14 580 потомков (51,7 % мальчиков – 7543, 48,3 % девочек – 7037), из них живорожденных потомков – 14 435 детей (51,7 % мальчиков – 7457; 48,3 % девочек – 6978).

Детский Регистр ЗАТО г. Озерск содержит информацию о 43 680 детях 1949–1973 гг. рождения, из них 35 149 детей родились в городе. После включения 14 580 потомков работников ПО «Маяк» в

основную группу проведена проверка среди оставшихся 20 569 детей на предмет преконцептивного облучения родителей (профессиональное облучение до зачатия ребенка, в том числе среди строителей, военных; ликвидаторов радиационных аварий; переселенцев с территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению). Группа сравнения состояла в итоге из 10 427 детей от необлученных родителей, рожденных в ЗАТО в 1949–1973 гг.: 50,8 % мальчиков – 5301; 49,2 % девочек – 5126, из них живорожденных потомков – 10 345 детей (50,8 % мальчиков – 5260; 49,2 % девочек – 5085).

Сопоставимость групп достигнута фактом рождения детей в г. Озерске и единым периодом наблюдения, что предполагает отсутствие различий в климатогеографических условиях проживания и одинаковое качество медицинского обслуживания населения ЗАТО.

Причины смерти учитывались согласно «Международной статистической классификации болезней и проблем, связанных со здоровьем» (МКБ) девятого и десятого пересмотров. Показатели смертности рассчитаны на 1000 детей: ранняя неонатальная смертность – как отношение числа детей, умерших в первые 7 суток, к числу детей, рожденных живыми; поздняя неонатальная смертность – как отношение числа детей, умерших в возрасте от 8 до 28 дней, ко всем живорожденным, исключая детей, умерших на первой неделе жизни; постнеонатальная смертность – как отношение числа детей, умерших в возрасте от 29 дней до года, ко всем детям, родившимся живыми, за исключением умерших в первые 28 дней жизни; младенческая смертность – как отношение числа детей, умерших от рождения до 12 месяцев, ко всем живорожденным.

Для сравнительного анализа применялось программное обеспечение Statistica Version 10 (StatSoft, USA): частоты сравнивались с помощью Pearson's chi-squared test (критерия  $\chi^2$ ) и two-tailed Fisher's exact test (точного критерия Фишера)<sup>3</sup>. Различия считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ . Расчет относительного риска (ОР) проводился по формуле:

$$OP = (a / (a + b)) / (c / (c + d)),$$

где  $a$  – случаи смерти среди потомков основной группы;  $b$  – живые потомки основной группы;  $c$  – случаи смерти среди потомков группы сравнения;  $d$  – живые потомки группы сравнения; с 95%-ным доверительным интервалом (ДИ):

<sup>1</sup> Characteristics of the cohort of workers at the Mayak nuclear complex / N.A. Koshurnikova, N.S. Shilnikova, P.V. Okatenko, V.V. Kreslov, M.G. Bolotnikova, M.E. Sokolnikov, V.F. Khokhriakov, K.G. Suslova [et al.] // Radiat. Res. – 1999. – Vol. 152, № 4. – P. 352–363.

<sup>2</sup> Оценка радиационного риска для населения, проживающего вблизи предприятия атомной промышленности. Сообщение 1. Методические подходы к оценкам радиационного риска. Состав Детского Регистра / Н.П. Петрушкина, Н.А. Кошурикова, Н.Р. Кабирова, П.В. Окатенко, В.В. Хохряков // Вопросы радиационной безопасности. – 1996. – № 2. – С. 46–50.

<sup>3</sup> Glantz S.A. Primer of biostatistics. Fourth Edition. – New York: McGraw-Hill, Health Professions Division, 1997. – 473 p.

$$95\% \text{ CI} = \exp(\ln(RR) - 1,96 \cdot SE\{\ln(RR)\}) \\ \text{to } \exp(\ln(RR) + 1,96 \cdot SE\{\ln(RR)\})$$

и среднеквадратической ошибкой логарифмического ОР:

$$SE\{\ln(RR)\} = \sqrt{\frac{1}{a} + \frac{1}{c} - \frac{1}{a+b} - \frac{1}{c+b}}.$$

Проанализирована частота и ОР смерти до года с учетом пола потомков, периодов рождения, родительского возраста на момент рождения детей. Рассмотрены следующие пятилетние календарные периоды: 1949–1953, 1954–1958, 1959–1963, 1964–1968 и 1969–1973 гг. Анализ родительского возраста проведен в интервалах: 20 лет и младше, 21–25 лет, 26–30 лет, 31–35 лет, 36 лет и старше.

ОР смерти потомков с учетом преконцептивного облучения родителей на ПО «Маяк» рассчитан в каждой из следующих категорий доз внешнего гамма-облучения гонад: нулевая доза (отсутствие зафиксированных доз у работника в исследуемый период); 0,1–20; 20,1–50; 50,1–100; 100,1–500; 500,1–1000; 1000,1 мГр и более.

**Результаты и их обсуждение.** Сравнительный анализ младенческой смертности и ее составляющих в группах представлен в табл. 1. В основной группе потомков за весь период наблюдения было зарегистрировано 372 случая младенческой смертности (57,5 % мальчиков, 42,5 % девочек). Среди потомков необлученных родителей число детей, умерших до года, составляло 322 ребенка (56,8 % мальчиков, 43,2 % девочек), статистически значимо превышая данные в основной группе:  $\chi^2 = 6,35$ ;  $p = 0,012$ .

Ранняя неонатальная смертность составляла в основной группе 39,3 % (146 / 372) всех случаев смерти в возрасте до года и 32,6 % (105 / 322) в группе сравнения и не различалась в группах. Поздняя

неонатальная смертность занимала в структуре младенческой смертности 5,9 % (22 / 372) в основной группе и 6,8 % (22 / 322) в группе сравнения. Значимых статистических различий в группах по частоте поздней неонатальной смертности не найдено ни в целом, ни при сравнении с учетом пола потомков.

Удельный вес постнеонатальной смертности в группах был большим: 54,8 % (204 / 372) в основной группе и 60,6 % (195 / 322) в группе сравнения. Частота постнеонатальной смертности была статистически значимо выше в группе сравнения как по сумме наблюдений ( $\chi^2 = 8,47$ ;  $p = 0,004$ ), так и при сравнительном анализе по полу (среди мальчиков –  $\chi^2 = 4,54$ ,  $p = 0,033$ ; среди девочек –  $\chi^2 = 4,06$ ,  $p = 0,044$ ).

Расчет относительного риска показал аналогичные итоги: постнеонатальная смертность среди мальчиков, девочек и обоих полов и младенческая смертность в целом были выше среди потомков необлученных родителей.

Динамика младенческой смертности и ее составляющих по пятилетним периодам рождения детей представлена на рис. 1. Временные тенденции ранней неонатальной смертности отличались пропорциональностью в обеих группах: с минимальными значениями в период 1949–1953 гг., стабилизацией в 1954–1963 гг. и постепенным снижением к 1969–1973 гг. Сравнительный анализ ранней неонатальной смертности в каждом календарном интервале не выявил различий между группами.

Уровни поздней неонатальной, постнеонатальной и младенческой смертности в группах в целом были сопоставимы: наиболее высокие показатели смертности зафиксированы в 1949–1953 гг. и неуклонно снижались к концу наблюдаемого периода. Значимые статистические различия отмечены только среди детей 1959–1963 гг. рождения, когда частота младенческой смертности в группе сравнения была выше, чем в основной группе ( $\chi^2 = 3,88$ ;  $p = 0,049$ ).

Таблица 1

Младенческая смертность и ее компоненты в группах

Основная группа			Группа сравнения			Относительный риск [95 % ДИ]					
Муж. (n = 7457), абс. (на 10 <sup>3</sup> )	Жен. (n = 6978), абс. (на 10 <sup>3</sup> )	Всего (n = 14435), абс. (на 10 <sup>3</sup> )	Муж. (n = 5260), абс. (на 10 <sup>3</sup> )	Жен. (n = 5085), абс. (на 10 <sup>3</sup> )	Всего (n = 10345), абс. (на 10 <sup>3</sup> )	Муж.		Жен.		Всего	
						ОР	ДИ	ОР	ДИ	ОР	ДИ
<i>Ранняя неонатальная смертность</i>											
83 (11,1)	63 (9,0)	146 (10,1)	64 (12,2)	41 (8,1)	105 (10,2)	0,92	0,7–1,3	1,12	0,8–1,7	0,99	0,8–1,3
<i>Поздняя неонатальная смертность</i> <sup>1</sup>											
13 (1,8)	9 (1,3)	22 (1,5)	9 (1,7)	13 (2,6)	22 (2,1)	1,02	0,4–2,4	0,51	0,2–1,2	0,72	0,4–1,3
<i>Постнеонатальная смертность</i> <sup>2</sup>											
118* (16,0)	86* (12,5)	204* (14,3)	110 (21,2)	85 (16,9)	195 (19,1)	0,76*	0,6–0,98	0,74*	0,5–0,99	0,75*	0,6–0,9
<i>Младенческая смертность</i>											
214 (28,7)	158 (22,6)	372* (25,8)	183 (34,8)	139 (27,3)	322 (31,1)	0,83	0,7–1,01	0,83	0,7–1,04	0,83*	0,7–0,96

Примечание: <sup>1</sup> – за вычетом детей, умерших в первые 7 дней жизни; <sup>2</sup> – за вычетом детей, умерших в первые 28 дней жизни; \* – статистически значимые различия.





Рис. 1. Динамика младенческой смертности и ее составляющих за 1949–1973 гг.  
(ОснГ – основная группа, ГСр – группа сравнения)

Оценка относительного риска в зависимости от периода рождения потомков показала те же тенденции: младенческая смертность в группе сравнения среди детей 1959–1963 гг. рождения была статистически значимо выше, чем в основной группе –  $OR = 0,67$  ( $0,5–0,99$ ) (табл. 2). Сравнительный анализ ранней и поздней неонатальной, постнеонатальной смертности с учетом пятилетних периодов рождения детей не выявил значимых различий.

Немногочисленные публикации описывают проблемы младенческой смертности в ранние годы наблюдения, указывая, что это был сложный период преодоления демографических последствий войны в условиях жесточайшей нехватки ресурсов [16]. Согласно данным национальной статистики, младенческая смертность за 1947–1964 гг. сократилась со 130

до 25 на 1000 родившихся, и коэффициент младенческой смертности в 70–80-е гг. прошлого столетия варьировался от 23,6 до 22,1 на  $10^3$  и зависел от региональных особенностей<sup>4</sup>. А.А. Баранов в анализе 30-летних тенденций младенческой смертности в СССР указывает, что «одной из особенностей были ее сезонные колебания с пиковыми показателями в июле – сентябре» [17].

Анализ структуры смертности в группах показал, что в спектре младенческой смертности у потомков облученных родителей ведущими были «Отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде» (коды по МКБ-10 – P00–P96): 132 случая (35,5 % всех исходов); в группе сравнения этот подкласс занимал вторые позиции – 97 случаев (30,1 %),  $\chi^2 = 0,035$ ;  $p > 0,05$  (рис. 2).

Таблица 2

Относительный риск смерти до года по периодам рождения детей

Период, гг.	Подвиды смертности	Основная группа, $n = 14\,435$			Группа сравнения, $n = 10\,345$			ОР [95 % ДИ]
		абс.	число детей в группе <sup>3</sup>	на $10^3$	абс.	число детей в группе <sup>3</sup>	на $10^3$	
1949–1953 гг.	Ранняя неонатальная	22	3053	7,2	17	3869	4,4	1,64 [0,9–3,1]
	Поздняя неонатальная <sup>1</sup>	13	3031	4,3	11	3852	2,9	1,5 [0,7–3,3]
	Постнеонатальная <sup>2</sup>	89	3018	29,5	114	3841	29,7	0,99 [0,8–1,3]
	Младенческая	124	3053	40,6	142	3869	36,7	1,11 [0,9–1,4]
1954–1958 гг.	Ранняя неонатальная	45	3565	12,6	35	2471	14,2	0,89 [0,6–1,4]
	Поздняя неонатальная	5	3520	1,4	4	2436	1,6	0,86 [0,2–3,2]
	Постнеонатальная	57	3515	16,2	50	2432	20,6	0,79 [0,5–1,2]
	Младенческая	107	3565	30,0	89	2471	36,0	0,83 [0,6–1,1]

<sup>4</sup> Anderson B.A., Silver B.D. Trends in mortality of the Soviet population // Sov. Econ. – 1990. – Vol. 6, № 3. – P. 191–251; Современные тенденции смертности по причинам смерти в России: 1965–1994 / Ф. Милле, В.М. Школьников, В. Эртриш, Ж. Валлен – М.: Центр демографии и экологии человека; Париж: Национальный институт демографических исследований (INED), 1996. – 140 с.

Периоды, гг.	Подвиды смертности	Основная группа, $n = 14\,435$			Группа сравнения, $n = 10\,345$			ОР [95 % ДИ]
		абс.	число детей в группе <sup>3</sup>	на $10^3$	абс.	число детей в группе <sup>3</sup>	на $10^3$	
1959–1963 гг.	Ранняя неонатальная	36	3264	11,0	21	1416	14,8	0,74 [0,4–1,3]
	Поздняя неонатальная	3	3228	0,9	5	1395	3,6	0,26 [0,1–1,1]
	Постнеонатальная	29	3225	9,0	17	1390	12,2	0,74 [0,4–1,3]
	Младенческая	68	3264	20,8	43	1416	30,4	0,67* [0,5–0,99]
1964–1968 гг.	Ранняя неонатальная	26	2571	10,1	12	939	12,8	0,79 [0,4–1,6]
	Поздняя неонатальная	1	2545	0,4	2	927	2,2	0,18 [0,02–2,0]
	Постнеонатальная	18	2544	7,1	6	925	6,5	1,09 [0,4–2,7]
	Младенческая	45	2571	17,5	20	939	21,3	0,82 [0,5–1,4]
1969–1973 гг.	Ранняя неонатальная	17	1982	8,6	20	1650	12,1	0,71 [0,4–1,4]
	Поздняя неонатальная	–	1965	–	–	1630	–	–
	Постнеонатальная	11	1965	5,6	8	1630	4,9	1,14 [0,5–2,8]
	Младенческая	28	1982	14,1	28	1650	17,0	0,83 [0,5–1,4]

Примечание: <sup>1</sup> – за вычетом детей, умерших в первые 7 дней жизни; <sup>2</sup> – за вычетом детей, умерших в первые 28 дней жизни; <sup>3</sup> – число детей данного периода рождения в группе; \* – статистически значимые различия.

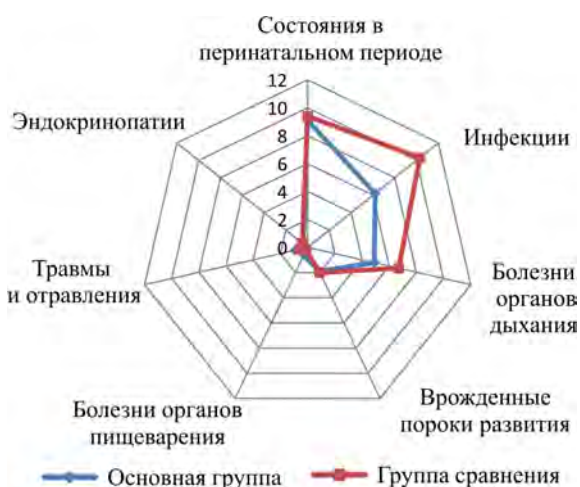


Рис. 2. Частота некоторых подклассов младенческой смертности ( $\cdot 10^3$ )

Второе место среди причин смерти до года у потомков облученных родителей (23,9 % – 89 случаев) и как ведущие причины смерти до года у потомков необлученных родителей (32,9 % – 106 случаев) занимали инфекционные заболевания, статистически значимо чаще зарегистрированные в группе сравнения:  $\chi^2 = 12,86$ ;  $p = 0,00034$ . Болезни органов дыхания занимали третью позицию в группах: 71 случай (19,1 %) в основной группе и 69 случаев (21,4 %) в группе сравнения,  $\chi^2 = 0,035$ ;  $p > 0,05$ .

Статистически значимых различий при сравнении остальных подклассов (эндокринопатии, врожденные пороки развития, болезни нервной и пищеварительной систем) не отмечено.

Ранняя неонатальная смертность вследствие недоношенности значимо чаще наблюдалась в группе сравнения – 2,2 против 1,2 ( $\cdot 10^3$ ) в основной группе ( $\chi^2 = 4,1$ ,  $p = 0,04$ ). Наиболее частыми причинами смерти в поздний неонатальный период в обеих группах были пневмонии без уточнения возбудителя, врожденные аномалии развития сердца и магистральных сосудов и состояния перинатального периода, представленные в основном выраженной степенью недоношенности, последствиями родовых травм и респираторным дистресс-синдромом. Значимых статистических различий этих состояний в поздний неонатальный период между группами не обнаружено.

В структуре постнеонатальной смертности преобладала инфекционная составляющая: болезни органов дыхания, в частности бронхопневмонии без уточнения возбудителя, и кишечные инфекции, среди которых особенно часто регистрировались случаи смерти от шигеллеза. Следует отметить, что в период 1950–1956 гг. в ЗАТО отмечалась крайне неблагоприятная эпидемиологическая ситуация по дизентерии с тяжелыми формами инфекции и высоким процентом летальности. Так, в основной группе в постнеонатальный период всего зарегистрировано

77 смертельных исходов от кишечных инфекций ( $5,4 \cdot 10^3$ ), из них 47 случаев – вследствие шигеллеза ( $3,3 \cdot 10^3$ ), из которых 85,1 % относились к 1950–1956 гг. В группе сравнения частота кишечных инфекций в целом была значимо выше: 79 случаев –  $7,7 \cdot 10^3$  ( $\chi^2 = 5,13$ ,  $p = 0,024$ ); из них наблюдалось 49 случаев шигеллеза –  $4,8 \cdot 10^3$  ( $\chi^2 = 3,44$ ,  $p > 0,05$ ), из которых 79,6 % относились к периоду 1950–1956 гг.

Помимо поражений кишечника, инфекционная патология в постнеонатальном периоде была представлена детскими карантинными инфекциями, вирусными гепатитами и туберкулезом. Отмечено, что в группе сравнения туберкулез регистрировался в качестве причин смерти в постнеонатальный период значимо чаще, чем в основной группе: 1,27 против  $0,2 \cdot 10^3$  ( $F\text{-test} = 0,0017$ ). Среди потомков необлученных родителей были диагностированы единичные случаи милиарного туберкулеза и внелегочные формы туберкулезной инфекции – туберкулез мозговых оболочек и костной ткани. Пневмонии постнеонатального периода значимо чаще являлись причиной смерти в группе сравнения: 5,28 против  $3,5 \cdot 10^3$  в основной группе,  $\chi^2 = 4,46$ ;  $p = 0,035$ . В итоге по сумме наблюдений инфекционные заболевания гораздо чаще регистрировались как причины смерти в постнеонатальный период среди детей необлученных родителей: 104 случая –  $10,2 \cdot 10^3$  против 88 случаев –  $6,17 \cdot 10^3$  в основной группе,  $\chi^2 = 12,3$ ;  $p = 0,0005$ .

Важно отметить, что среди детей облученных родителей в постнеонатальный период зарегистрировано два случая смерти от злокачественных новообразований (ЗНО). Лейкоз неуточненного клеточного типа диагностирован в 1954 г. у трехмесячного мальчика, чьи родители были работниками радиохимического производства и подвергались преконцептивному радиационному воздействию гамма-облучения в дозе 5,1 мГр на яичники и 385,8 мГр на семенники, доза внутриутробного гамма-облучения составляла 8,78 мГр. ЗНО головного мозга диагностировано в 1968 г. у девочки 5-месячного возраста, отец которой являлся работником реакторного завода, и доза преконцептивного производственного внешнего гамма-облучения семенников достигала 2,33 мГр. Среди потомков необлученных родителей смертельных исходов вследствие ЗНО в возрасте до года не наблюдалось.

Следует указать, что сравниваемые группы состояли только из детей, родившихся и проживавших в ЗАТО. С момента пуска основного производства «медицинское обслуживание населения ЗАТО, наряду с работниками градообразующего предприятия, осуществляется ФМБА России в виде медико-санитарных частей и клинических больниц» [18], что предполагает единые стандарты оказания помощи и оснащенность службы здравоохранения.

В табл. 3 показаны распределение потомков, умерших до года, по возрасту родителей при рожде-

нии детей и относительный риск смерти до года в различных категориях материнского и отцовского возраста.

В основной группе материнский возраст при рождении ребенка в среднем приходился на 26 лет (диапазон от 15 до 46 лет), отцовский – 27,5 г. (17–54 года). В группе сравнения средний возраст матерей был аналогичным – 26 лет (15–49 лет), средний возраст отцов был несколько выше – 28,3 г. (15–56 лет). Характеристики возраста родителей среди случаев смерти до года мало отличались от данных в когорте: в основной группе средний возраст матерей – 26 лет (17–43), отцов – 27,3 г. (19–50); в группе сравнения – 26 лет (16–45) и 28 лет (19–47) соответственно.

В обеих группах дети наиболее часто рождались у матерей в возрасте 21–25 лет и отцов в возрасте 26–30 лет. Случаи младенческой смертности в группах регистрировались чаще у мальчиков, родившихся от юных матерей (в основной группе –  $40,0 \cdot 10^3$ , в группе сравнения –  $43,0 \cdot 10^3$ ,  $p > 0,05$ ) и матерей 36 лет и старше ( $37,8$  и  $48,2 \cdot 10^3$ ) соответственно,  $p > 0,05$ , а также среди потомков юных отцов (среди мальчиков в основной группе –  $34,3 \cdot 10^3$ ,  $p > 0,05$ ; среди девочек группы сравнения –  $53,4 \cdot 10^3$ ,  $F\text{-test} = 0,031$ ).

Статистически значимые оценки относительного риска получены для категории материнского возраста 21–25 лет, в которой младенческая смертность в группе сравнения была выше для потомков женского пола – 0,68 (0,5–0,96) и для обоих полов – 0,75 (0,6–0,95), и категории 31–35 лет для девочек – 0,5 (0,3–0,97). Младенческая смертность была значимо ниже для потомков работников ПО «Маяк» в следующих категориях возраста отца: 20 лет и младше, 21–25 лет и 31–35 лет.

Изучение различий в показателях младенческой смертности в возрастных подгруппах матерей младше 20 лет в США показало, что дети, рожденные от более молодых матерей, подвергались повышенному риску смерти [19]. Связь преклонного возраста отца с негативными последствиями как для матери, так и для потомков, описывают Y.S. Khandwala et al. [20]. Между тем, по данным шведского реестра для изучения смертности, отмечена более высокая выживаемость у потомков пожилых родителей [21]. Авторами подчеркивается важность тенденции рождения «более поздних детей в более богатом и здоровом» окружении. Вместе с тем M. Balaj et al. [22] указывают на значимость уровня образования родителей, отмечая, что более низкий уровень образования матери и отца является фактором риска детской смертности, даже после учета других маркеров социально-экономического статуса семьи. Исследование связи между уровнем образования родителей и младенческой смертностью на основе статистических данных естественного движения населения в Японии показало, что более низкий уровень образования матерей действительно был связан с детской смертностью [23].

Таблица 3

Относительный риск смерти до года по возрасту родителей при рождении детей

Возраст родителей, лет	Пол <sup>▲</sup>	Основная группа, n = 14 435			Группа сравнения, n = 10 345			ОР [95 % ДИ]
		абс.	число детей в группе <sup>1</sup>	на 10 <sup>3</sup>	абс.	число детей в группе <sup>1</sup>	на 10 <sup>3</sup>	
В целом по группе	Муж.	214	7457	28,7	183	5260	34,8	0,82 [0,7–1,002]
	Жен.	158	6978	22,6	139	5085	27,3	0,83 [0,7–1,04]
	Всего	372	14435	25,8	322	10345	31,1	0,83* [0,7–0,96]
<i>Возраст матерей</i>								
20 и младше	Муж.	33	825	40,0	32	744	43,0	0,93 [0,6–1,5]
	Жен.	20	757	26,4	14	652	21,5	1,23 [0,6–2,4]
	Всего	53	1582	33,5	46	1396	33,0	1,02 [0,7–1,5]
21–25	Муж.	84	2938	28,6	73	2080	35,1	0,82 [0,6–1,1]
	Жен.	61	2796	21,8	66	2063	32,0	0,68* [0,5–0,96]
	Всего	145	5734	25,3	139	4143	33,6	0,75* [0,6–0,95]
26–30	Муж.	55	2420	22,7	42	1482	28,3	0,8 [0,5–1,2]
	Жен.	52	2255	23,1	33	1496	22,1	1,05 [0,7–1,6]
	Всего	107	4675	22,9	75	2978	25,2	0,91 [0,7–1,2]
31–35	Муж.	31	983	31,5	21	643	32,7	0,97 [0,6–1,7]
	Жен.	15	892	16,8	20	594	33,7	0,5* [0,3–0,97]
	Всего	46	1875	24,5	41	1237	33,1	0,74 [0,5–1,1]
От 36 лет и старше	Муж.	11	291	37,8	15	311	48,2	0,78 [0,4–1,7]
	Жен.	10	278	36,0	6	280	21,4	1,68 [0,6–4,6]
	Всего	21	569	36,9	21	591	35,5	1,04 [0,6–1,9]
<i>Возраст отцов<sup>2</sup></i>								
20 и младше	Муж.	8	233	34,3	2	141	14,2	2,42 [0,5–11,2]
	Жен.	2	204	9,8	7	131	53,4	0,18* [0,04–0,9]
	Всего	10	437	22,9	9	272	33,1	0,69 [0,3–1,7]
21–25	Муж.	72	2508	28,7	65	1761	36,9	0,78 [0,6–1,1]
	Жен.	53	2391	22,2	49	1675	29,3	0,76 [0,5–1,1]
	Всего	125	4899	25,5	114	3436	33,2	0,77* [0,6–0,99]
26–30	Муж.	66	2855	23,1	55	1789	30,7	0,75 [0,5–1,1]
	Жен.	56	2662	21,0	43	1854	23,2	0,91 [0,6–1,3]
	Всего	122	5517	22,1	98	3643	26,9	0,82 [0,6–1,1]
31–35	Муж.	28	1224	22,9	38	934	40,7	0,56* [0,4–0,9]
	Жен.	19	1145	16,6	30	859	34,9	0,47* [0,3–0,8]
	Всего	47	2369	19,8	68	1793	37,9	0,52* [0,4–0,8]
От 36 лет и старше	Муж.	14	477	29,4	23	633	36,3	0,81 [0,4–1,6]
	Жен.	9	452	19,9	10	553	18,1	1,1 [0,5–2,7]
	Всего	23	929	24,8	33	1186	27,8	0,89 [0,5–1,5]

Примечание: <sup>1</sup> – число детей в группе от родителей данного возраста; <sup>2</sup> – возраст отца неизвестен у 284 потомков в основной группе и 15 потомков в группе сравнения; \* – статистически значимые различия; ▲ – в колонке указан пол новорожденных.

В табл. 4 показана оценка доз прекоцептивно-го внешнего гамма-облучения родителей основной группы на ПО «Маяк». Представлены параметры накопленных доз внешнего гамма-излучения в целом по группе и среди детей, умерших до года.

Максимальные дозы производственного облучения матерей во всей основной группе достигали 4075,6 мГр; среди матерей, чьи дети умерли до года, – 1930,4 мГр. Аналогичные тенденции были отмечены при анализе прекоцептивного облучения семенников: во всей когорте максимальная доза достигала 5653,1 мГр, при анализе случаев младенческой смертности – 3987,5 мГр. Величины средних характеристик доз прекоцептивного облучения яичников и семенников были ниже среди случаев младенческой смертности, чем в когорте в целом.

Распределение детей основной группы по категориям доз производственного облучения родителей показало, что наибольшее число потомков отмечалось в интервале доз до зачатия 100,1–500 мГр (26 % детей от матерей-работниц ПО «Маяк» и 30,3 % детей от отцов-персонала) и «нулевых доз» (24,5 и 15,8 % соответственно). Анализ младенческой смертности показал, что в этих категориях было зарегистрировано самое большое число случаев смерти до года: при прекоцептивном облучении яичников – 24,1 % в дозовой категории 100,1–500 мГр и 27,2 % при «нулевых дозах»; при прекоцептивном облучении семенников – 28,2 и 26 % соответственно.

Оценка младенческой смертности с учетом интервалов доз внешнего гамма-излучения в сравнении с аналогичными данными потомков соответствующего пола от необлученных родителей представлена в табл. 5.

Таблица 4

Характеристика прекоцептивного внешнего гамма-облучения родителей на производстве, мГр

Параметр	Число потомков	Диапазон доз	Среднее значение $\pm$ среднее квадратическое отклонение	Медиана [интерквартильный размах $Q_{25}; Q_{75}$ ]
<i>Прекоцептивное облучение яичников</i>				
Вся основная группа	4821	0–4075,6	$286,8 \pm 470,9$	74,4 [0,4; 367,4]
Случаи смерти до года	158	0–1930,4	$276,2 \pm 474,1$	55,3 [0; 303,8]
<i>Прекоцептивное облучение семенников</i>				
Вся основная группа	12356	0–5653,1	$382,2 \pm 614,8$	126,9 [16,1; 461,8]
Случаи смерти до года	273	0–3987,5	$349,9 \pm 605,2$	110,6 [0; 461,4]

Таблица 5

Относительный риск смерти до года по интервалам прекоцептивных доз родителей  
(сравнение с детьми того же пола в группе сравнения)

Интервалы доз, мГр	Пол▲	Основная группа			Группа сравнения			ОР [95 % ДИ]
		абс.	число детей в группе <sup>1</sup>	на 10 <sup>3</sup>	абс.	число детей в группе	на 10 <sup>3</sup>	
Прекоцептивное облучение яичников								
Нулевая доза	Муж.	21	590	35,6	183	5260	34,8	1,02 [0,66–1,6]
	Жен.	22	592	37,2	139	5085	27,3	1,36 [0,87–2,1]
	Всего	43	1182	36,4	322	10345	31,1	1,17 [0,85–1,6]
От 0,1 до 20,0	Муж.	9	302	29,8	183	5260	34,8	0,86 [0,44–1,66]
	Жен.	8	281	28,5	139	5085	27,3	1,04 [0,52–2,1]
	Всего	17	583	29,2	322	10345	31,1	0,94 [0,58–1,51]
От 20,1 до 50,0	Муж.	12	233	51,5	183	5260	34,8	1,48 [0,84–2,6]
	Жен.	4	183	21,9	139	5085	27,3	0,8 [0,3–2,1]
	Всего	16	416	38,5	322	10345	31,1	1,24 [0,75–2,02]
От 50,1 до 100,0	Муж.	13	254	51,2	183	5260	34,8	1,47 [0,85–2,55]
	Жен.	3	196	15,3	139	5085	27,3	0,56 [0,18–1,74]
	Всего	16	450	35,6	322	10345	31,1	1,14 [0,7–1,87]
От 100,1 до 500,0	Муж.	23	652	35,3	183	5260	34,8	1,01 [0,66–1,55]
	Жен.	15	602	24,9	139	5085	27,3	0,91 [0,54–1,54]
	Всего	38	1254	30,3	322	10345	31,1	0,97 [0,7–1,36]
От 500,1 до 1000,0	Муж.	5	263	19,0	183	5260	34,8	0,55 [0,23–1,32]
	Жен.	7	262	26,7	139	5085	27,3	0,98 [0,46–2,1]
	Всего	12	525	22,9	322	10345	31,1	0,73 [0,42–1,3]
От 1000,1 и более	Муж.	12	221	54,3	183	5260	34,8	1,56 [0,88–2,75]
	Жен.	4	190	21,1	139	5085	27,3	0,77 [0,29–2,06]
	Всего	16	411	38,9	322	10345	31,1	1,25 [0,76–2,1]
Итого	Муж.	95	2515	37,8	183	5260	34,8	1,09 [0,85–1,38]
	Жен.	63	2306	27,3	139	5085	27,3	0,99 [0,75–1,34]
	Всего	158	4821	32,8	322	10345	31,1	1,05 [0,87–1,27]
Прекоцептивное облучение семенников								
Нулевая доза	Муж.	32	1010	31,7	183	5260	34,8	0,91 [0,63–1,32]
	Жен.	39	946	41,2	139	5085	27,3	1,51* [1,06–2,14]
	Всего	71	1956	36,3	322	10345	31,1	1,17 [0,91–1,5]
От 0,1 до 20,0	Муж.	15	642	23,4	183	5260	34,8	0,67 [0,4–1,13]
	Жен.	6	657	9,1	139	5085	27,3	0,33* [0,15–0,75]
	Всего	21	1299	16,2	322	10345	31,1	0,52* [0,33–0,81]
От 20,1 до 50,0	Муж.	11	591	18,6	183	5260	34,8	0,54* [0,3–0,98]
	Жен.	7	560	12,5	139	5085	27,3	0,46* [0,22–0,97]
	Всего	18	1151	15,6	322	10345	31,1	0,5* [0,31–0,81]
От 50,1 до 100,0	Муж.	14	651	21,5	183	5260	34,8	0,62 [0,36–1,1]
	Жен.	10	638	15,7	139	5085	27,3	0,57 [0,3–1,08]
	Всего	24	1289	18,6	322	10345	31,1	0,59* [0,39–0,9]
От 100,1 до 500,0	Муж.	50	1935	25,8	183	5260	34,8	0,74 [0,55–1,01]
	Жен.	27	1806	15,0	139	5085	27,3	0,55* [0,36–0,82]
	Всего	77	3741	20,6	322	10345	31,1	0,66* [0,52–0,85]

Интервалы доз, мГр	Пол	Основная группа			Группа сравнения			ОР [95 % ДИ]
		абс.	число детей в группе <sup>1</sup>	на 10 <sup>3</sup>	абс.	число детей в группе	на 10 <sup>3</sup>	
От 500,1 до 1000,0	Муж.	20	748	26,7	183	5260	34,8	0,77 [0,49–1,2]
	Жен.	13	682	19,1	139	5085	27,3	0,69 [0,39–1,22]
	Всего	33	1430	23,1	322	10345	31,1	0,74 [0,52–1,06]
От 1000,1 и более	Муж.	17	771	22,0	183	5260	34,8	0,63 [0,39–1,04]
	Жен.	12	719	16,7	139	5085	27,3	0,61 [0,34–1,09]
	Всего	29	1490	19,5	322	10345	31,1	0,62* [0,43–0,91]
Итого	Муж.	159	6348	25,0	183	5260	34,8	0,72* [0,58–0,89]
	Жен.	114	6008	19,0	139	5085	27,3	0,69* [0,54–0,89]
	Всего	273	12356	22,1	322	10345	31,1	0,71* [0,61–0,83]

Примечание: <sup>1</sup> – число детей в группе в данном интервале доз облучения родителей; \* – статистически значимые различия; ▲ – в колонке указан пол новорожденных.

Число детей, чьи матери подвергались до зачатия производственному контакту с ионизирующим излучением, составляло 4821, из них 158 детей умерли на первом году жизни (60,1 % – мальчики, 39,9 % – девочки). Какой-либо закономерности при рассмотрении категорий преконцептивного облучения матерей и частоты младенческой смертности потомков не обнаружено: в среднем частота младенческой смертности в основной группе соответствовала значениям в группе сравнения. Наибольшая смертность до года в основной группе была отмечена среди потомков мужского пола в интервалах доз 20,1–50 мГр ( $51,5 \cdot 10^3$ ); 50,1–100 мГр ( $51,2 \cdot 10^3$ ) и более 1 Гр ( $54,3 \cdot 10^3$ ). Однако сравнительный анализ не выявил значимых различий ОР ни в одной категории доз преконцептивного облучения яичников.

Количество потомков, чьи отцы подверглись до зачатия внешнему гамма-излучению на производстве, достигало в основной группе 12 356 человек, из них зарегистрировано 273 случая младенческой смертности (58,2 % – мальчики, 41,8 % – девочки). Самая высокая частота младенческой смертности ( $41,2 \cdot 10^3$ ) наблюдалась среди девочек, чьи отцы входили в категорию «нулевых доз» производственного облучения. Оценка ОР в этой категории доз показала, что младенческая смертность среди девочек облученных отцов была статистически значимо выше, чем среди девочек группы сравнения, – 1,51 (1,06–2,14). Детальный анализ структуры смертности в данной категории доз обозначил значимое превышение случаев кишечных инфекций у девочек от облученных отцов ( $13,7 \cdot 10^3$ ) в сравнении с данными девочек от необлученных родителей ( $7,1 \cdot 10^3$ ),  $\chi^2 = 4,39$ ;  $p = 0,036$ .

Во многих категориях доз преконцептивного облучения семенников (0,1–20; 20,1–50; 50,1–100; 100,1–500 мГр) младенческая смертность оказалась статистически значимо ниже, чем в контрольной

группе. Итоговая оценка риска для всех детей, чьи отцы подвергались пролонгированному производственному облучению, также показала более низкую младенческую смертность, чем в группе сравнения: для потомков мужского пола – 0,72 (0,58–0,89), женского пола – 0,69 (0,54–0,89), для обоих полов – 0,71 (0,61–0,83).

В рамках исследования выживших после детского рака L.B. Signorello et al. [24] описывают, что радиационное воздействие на область яичников и матки существенно увеличивало риск мертворождения и смерти потомков в неонатальный период в суммарных дозах свыше 10 Гр. D.M. Green et al. [25] наблюдали репродуктивные исходы после лучевой терапии рака и отметили, что новорожденные от женщин, получивших дозы облучения матки более 5 Гр, с большей вероятностью были маленькими для гестационного возраста, однако различий в доле потомков с пороками развития, цитогенетическими синдромами или моногенными дефектами не было обнаружено. Между тем анализ связи радиационного воздействия с риском врожденных аномалий и смерти в перинатальный период среди потомков японцев, подвергшихся атомной бомбардировке, продемонстрировал ассоциацию облучения родителей и изучаемых эффектов, но прямое действие радиации не было доказано [26]. Согласно ранее проведенным исследованиям в когорте детского населения ЗАТО, сопоставление уровня и спектра смертности до года среди детей 1974–1988 гг. рождения не выявило значимых различий между потомками работников ПО «Маяк» и детьми необлученных родителей<sup>5</sup>.

Таким образом, суммарная оценка младенческой смертности и ее составляющих продемонстрировала, что среди потомков необлученных родителей наблюдалась более высокая частота постнеонатальной и младенческой смертности в целом и

<sup>5</sup> Оценка радиационного риска для населения, проживающего вблизи предприятия атомной промышленности. Сообщение 3. Младенческая смертность среди детей 1974–1988 годов рождения / Н.П. Петрушкина, Н.А. Кошурникова, Н.Р. Кабирова, П.В. Окатенко // Вопросы радиационной безопасности. – 1996. – № 4. – С. 15–22.



инфекционной патологии. В качестве возможного объяснения этого факта следует указать на вероятный «эффект здорового рабочего» [27] среди родителей-персонала ПО «Маяк» вследствие тщательно медицинского освидетельствования перед наймом на производство с вредными условиями труда и отбора лиц без явной хронической патологии. Нельзя отрицать, что родители основной группы детей могли исходно отличаться лучшими показателями здоровья в сопоставлении с родителями в группе сравнения [28].

С другой стороны, важно указать на особенности социально-экономических условий жизни в ЗАТО [29, 30]. Семьи работников ПО «Маяк», как правило, проживали в лучших материально-бытовых условиях, по сравнению с семьями трудоустроенных в городских организациях. Анализ младенческой смертности в зависимости от принадлежности родителей к различным социальным группам показал, что в основной группе 61,3 % (228 / 372) матерей на момент рождения ребенка относились к категории «рабочие», 21,2 % (79 / 372) – «служащие», каждая десятая мать являлась студенткой – 10,5 % (39 / 372). В группе сравнения к «рабочим» относились 53,7 % (173 / 322) матерей, чьи дети умерли до года; к «служащим» – 15,5 % (50 / 322), студентками были 19,9 % (64 / 322). Анализ трудовой занятости отцов показал, что в основной группе к социальной категории «рабочий» относились 68 % (253 / 372) отцов, «служащий» – 16,9 % (63 / 372); в группе сравнения – 59,6 % (192 / 322) и 20,2 % (65 / 322) соответственно, и 0,3 % (1 / 322) отмечен как обучающийся в техникуме.

Значимые статистические различия получены для социальной категории «рабочие», к которой в основной группе относилось больше родителей, чем в группе сравнения (среди матерей  $\chi^2 = 4,05$ ,  $p = 0,044$ ; среди отцов  $\chi^2 = 5,3$ ,  $p = 0,022$ ), и категории «студенты», гораздо чаще представленной среди матерей в группе сравнения ( $\chi^2 = 12,1$ ;  $p < 0,001$ ).

Исследования социальных аспектов младенческой смертности многочисленны. Так, оценка влияния медико-организационных факторов и социальных причин на смертность в поздний неонатальный период в Уральском федеральном округе показала, что «социальные причины являются преобладающими» и достигают 60 % [31]. Акцент на социальных факторах в основе смертности от внешних причин делают исследователи детской и перинатальной смертности в России [32]. При разработке мер по снижению младенческой и материнской смертности в стране выделяют три группы факторов, характеризующих разные условия жизнедеятельности: материальное благополучие, качество медицинского обслуживания, социальную обстановку [5]. Принимая во внимание факт рождения и проживания наблюдаемых детей в ЗАТО и, соответственно, единое качество медицинской помощи, вопросы социально-го благополучия и исходного состояния здоровья родителей становятся приоритетными.

В планах дальнейшего исследования этой темы – анализ перинатальной и младенческой смертности с учетом таких нерадиационных факторов, как гестационный возраст, паритет родов и других акушерско-гинекологических факторов риска, сопряженных с неблагоприятными исходами на первом году жизни [33, 34]. Наличие случаев ЗНО в основной группе как причин смерти до года требует дальнейшего наблюдения в старших возрастных группах потомков.

**Выводы.** Ретроспективное эпидемиологическое исследование младенческой смертности и ее структурных компонентов проведено в когорте детей ЗАТО г. Озерск, родившихся в городе в 1949–1973 гг. ( $n = 24\,780$ ), 14 435 из них родились в семьях работников радиационно-опасного предприятия.

Сравнительный анализ смертности до года показал, что среди потомков необлученных родителей постнеонатальная и младенческая смертность в целом были статистически значимо выше, чем в основной группе. Отмечено существенное влияние инфекционной патологии на частоту исходов и явное преобладание в группе сравнения случаев смерти до года вследствие инфекционных заболеваний.

Оценка младенческой смертности с учетом накопленных доз производственного прекоцептивного внешнего гамма-излучения выделила некоторые дозовые интервалы, в которых риск в основной группе был выше, что было обусловлено инфекционной патологией.

Анализ нерадиационных факторов, в частности, возраста и профессии родителей, обнаружил более высокие уровни младенческой смертности среди потомков необлученных родителей в некоторых возрастных категориях и значимые различия в группах по видам трудовой занятости родителей.

Принимая во внимание многообразие нерадиационных факторов, приводящих к младенческой смертности, в дальнейшем требуется детальный факторный анализ в когорте детского населения ЗАТО.

На данном этапе работы отмеченные особенности смертности среди потомков облученных родителей, возможно, объясняются «эффектом здорового рабочего» в когорте работников ПО «Маяк» и более благоприятными материально-бытовыми условиями их семей, что могло оказать немаловажное влияние на заболеваемость и смертность младенцев.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках Государственного контракта № 11.314.22.2 от 15 июля 2022 г. «Анализ последствий воздействия ионизирующего излучения на здоровье населения и потомков, проживающих вблизи атомных объектов Госкорпорации «Росатом» на основании Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2035 года».

**Конфликт интересов.** Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

## Список литературы

1. Румянцев А.Г. Приоритеты фундаментальной педиатрии в контроле младенческой и детской смертности // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. – 2019. – Т. 98, № 2. – С. 8–13.
2. Tyukov Y.A., Kosymov E.A. Hidden trends in modern sickness rate dynamics in children // Journal of Global Pharma Technology. – 2020. – Vol. 12, № 1. – P. 197–203.
3. Бобровская М.А. Младенческая смертность в России // Экономика и социум. – 2019. – № 5 (60). – С. 410–417.
4. Дымова И.А. Факторы формирования здоровья детей первого года жизни (обзор литературы) // Пермский медицинский журнал. – 2020. – Т. 37, № 1. – С. 85–92. DOI: 10.17816/pmj37185-92
5. Тихомирова Т.М., Тихомиров Н.П. Эконометрические методы обоснования мер по снижению младенческой и материнской смертности в России // Фундаментальные исследования. – 2022. – № 4. – С. 69–76. DOI: 10.17513/fr.43241
6. Нурова А.А., Мирзоева Р.К., Бердыш Д.С. Современная ситуация по перинатальной и младенческой смертности в России // Биомедицина и социология. – 2022. – Т. 7, № 2. – С. 59–66. DOI: 10.26787/nydha-2618-8783-2022-7-2-59-66
7. Отдаленные последствия цитостатических воздействий на зародышевые клетки тестикулярной ткани (экспериментальное исследование) / Т.Г. Боровская, А.В. Вычужанина, Ю.А. Щемерова, С.И. Ксенева, Т.И. Фомина, Е.А. Бохан, В.Е. Гольдберг // Сибирский онкологический журнал. – 2023. – Т. 22, № 4. – С. 74–83. DOI: 10.21294/1814-4861-2023-22-4-74-83
8. Clinical, immunological and genetic research on the participants in mitigating the consequences of the Chernobyl nuclear accident / L. Coretchi, M. Gincu, I. Bahnarel, G. Friptuleac, P. Romanciuc, A. Capatina // One Health & Risk Management. – 2023. – Vol. 4, № 1. – P. 4–19. DOI: 10.38045/ohrm.2023.1.01
9. Boice J.D. Jr. The Likelihood of Adverse Pregnancy Outcomes and Genetic Disease (Transgenerational Effects) from Exposure to Radioactive Fallout from the 1945 Trinity Atomic Bomb Test // Health Phys. – 2020. – Vol. 119, № 4. – P. 494–503. DOI: 10.1097/HP.0000000000001170
10. Körblein A. Statistical modeling of trends in infant mortality after atmospheric nuclear weapons testing // PLoS One. – 2023. – Vol. 18, № 5. – P. e0284482. DOI: 10.1371/journal.pone.0284482
11. Scherb H.H., Mori K., Hayashi K. Increases in perinatal mortality in prefectures contaminated by the Fukushima nuclear power plant accident in Japan: A spatially stratified longitudinal study // Medicine (Baltimore). – 2016. – Vol. 95, № 38. – P. e4958. DOI: 10.1097/MD.0000000000004958
12. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103 // Ann. ICRP. – 2007. – Vol. 37, № 2–4. – P. 1–332. DOI: 10.1016/j.icrp.2007.10.003
13. Царева Ю.В., Окатенко П.В. Структура смертности населения г. Озерска за период 1948–2013 гг. // Вопросы радиационной безопасности. – 2023. – № 1 (109). – С. 60–66.
14. Регистр здоровья детского населения г. Озёрска: результаты разработки, принципы ведения, возможности и перспективы / С.Ф. Соснина, Н.Р. Кабирова, П.В. Окатенко, С.А. Рогачёва, Ю.В. Царёва, Е.А. Груздева, М.Э. Сокольников // Медицина экстремальных ситуаций. – 2017. – Т. 61, № 3. – С. 95–103.
15. Napier B.A. The Mayak Worker Dosimetry System (MWDS-2013): an introduction to the documentation // Radiat. Prot. Dosimetry. – 2017. – Vol. 176, № 1–2. – P. 6–9. DOI: 10.1093/rpd/nrx020
16. Такташева Ф.А. Младенческая смертность в Сталинградской области в 1940–1950-е гг. // Каспийский регион: политика, экономика, культура. – 2019. – № 1 (58). – С. 41–47. DOI: 10.21672/1818-510X-2019-58-1-041-047
17. Баранов А.А. Этапы и пути снижения младенческой смертности в Российской Федерации: опыт последних 30 лет // Российский педиатрический журнал. – 2017. – Т. 20, № 5. – С. 311–315. DOI: 10.18821/1560-9561-2017-20-5-311-315
18. Олесова В.Н., Олесов Е.Е., Олесов А.Е. Стоматологическая заболеваемость работников опасных производств (клинико-эпидемиологические и организационно-экономические аспекты). – М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2021. – 288 с.
19. Moore M.D., Brisendine A.E., Wingate M.S. Infant mortality among adolescent mothers in the United States: a 5-Year analysis of racial and ethnic disparities // Am. J. Perinatol. – 2022. – Vol. 39, № 2. – P. 180–188. DOI: 10.1055/s-0040-1714678
20. Association of paternal age with perinatal outcomes between 2007 and 2016 in the United States: population based cohort study / Y.S. Khandwala, V.L. Baker, G.M. Shaw, D.K. Stevenson, H.K. Faber, Y. Lu, M.L. Eisenberg // BMJ. – 2018. – Vol. 363. – P. k4372. DOI: 10.1136/bmj.k4372
21. Associations of parental age with offspring all-cause and cause-specific adult mortality / D. Carslake, P. Tynelius, G.J. van den Berg, G. Davey Smith // Sci. Rep. – 2019. – Vol. 9, № 1. – P. 17097. DOI: 10.1038/s41598-019-52853-8
22. Parental education and inequalities in child mortality: a global systematic review and meta-analysis / M. Balaj, H.W. York, K. Sripada, E. Besnier, H.D. Vonen, A. Aravkin, J. Friedman, M. Griswold [et al.] // Lancet. – 2021. – Vol. 398, № 10300. – P. 608–620. DOI: 10.1016/S0140-6736(21)00534-1
23. Okui T. Association between infant mortality and parental educational level: An analysis of data from Vital Statistics and Census in Japan // PLoS One. – 2023. – Vol. 18, № 6. – P. e0286530. DOI: 10.1371/journal.pone.0286530
24. Stillbirth and neonatal death in relation to radiation exposure before conception: a retrospective cohort study / L.B. Signorello, J.J. Mulvihill, D.M. Green, H.M. Munro, M. Stovall, R.E. Weathers, A.C. Mertens, J.A. Whitton [et al.] // Lancet. – 2010. – Vol. 376, № 9741. – P. 624–630. DOI: 10.1016/S0140-6736(10)60752-0
25. Ovarian failure and reproductive outcomes after childhood cancer treatment: results from the Childhood Cancer Survivor Study / D.M. Green, C.A. Sklar, J.D. Boice Jr., J.J. Mulvihill, J.A. Whitton, M. Stovall, Y. Yasui // J. Clin. Oncol. – 2009. – Vol. 27, № 14. – P. 2374–2381. DOI: 10.1200/JCO.2008.21.1839
26. Congenital Malformations and Perinatal Deaths Among the Children of Atomic Bomb Survivors: A Reappraisal / M. Yamada, K. Furukawa, Y. Tatsukawa, K. Marumo, S. Funamoto, R. Sakata, K. Ozasa, H.M. Cullings [et al.] // Am. J. Epidemiol. – 2021. – Vol. 190, № 11. – P. 2323–2333. DOI: 10.1093/aje/kwab099

27. Трубецков А.Д., Жиров К.С. «Эффект здорового рабочего» в различных областях медицины труда (обзор) // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2021. – Т. 29, № 2. – С. 254–259. DOI: 10.32687/0869-866X-2021-29-2-254-259
28. Соснина С.Ф., Окатенко П.В. Неинфекционная патология у детей работников предприятия атомной промышленности // Медицинский академический журнал. – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 68–76.
29. Соснина С.Ф., Волосников Д.К. Гендерные аспекты качества жизни подростков // Проблемы женского здоровья. – 2010. – Т. 5, № 2. – С. 42–45.
30. Таранушенко Т.Е., Проскурина М.В., Киселева Н.Г. Динамика эпидемиологических показателей сахарного диабета типа 1 у детей и подростков, проживающих на территории закрытого административно-территориального образования // Врач. – 2023. – Т. 34, № 9. – С. 29–33. DOI: 10.29296/25877305-2023-09-06
31. Девятова Е.О., Литвинова А.М. Влияние социальных и медико-организационных факторов на позднюю неонатальную смертность в Уральском федеральном округе // Уральский медицинский журнал. – 2011. – № 12 (90). – С. 10–13.
32. Суханова Л.П., Скляр М.С. Детская и перинатальная смертность в России: тенденции, структура, факторы риска // Социальные аспекты здоровья населения. – 2007. – № 4 (4). – С. 2.
33. Заболеваемость беременных анемией и ее влияние на младенческую смертность // Д.О. Иванов, В.К. Юрьев, К.Г. Шевцова, К.Е. Моисеева, Ш.Д. Харбедия, Е.Н. Березкина // Педиатр. – 2019. – Т. 10, № 1. – С. 43–48. DOI: 10.17816/PED10143-48
34. Преждевременные роды как основная причина младенческой заболеваемости и смертности / О.А. Брюханова, Р.Х. Бахитова, Э.Н. Ахмадеева, А.А. Ильина // Медицинский вестник Башкортостана. – 2020. – Т. 15, № 6 (90). – С. 132–135.

*Соснина С.Ф., Окатенко П.В., Сокольников М.Э. Риск младенческой смертности среди потомков работников радиационно-опасного производства // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 85–98. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.08*

UDC 613.648.4: 314.422.2

DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.08.eng



Research article

## THE RISK OF INFANT MORTALITY AMONG THE OFFSPRING OF THE WORKERS OF RADIATION HAZARDOUS PRODUCTION

**S.F. Sosnina, P.V. Okatenko, M.E. Sokolnikov**

Southern Urals Biophysics Institute, 19 Ozyorskoe shosse, Ozyorsk, Chelyabinsk region, 456783, Russian Federation

*Infant mortality is an indicator of healthcare quality and social well-being in a society and could be used as an important parameter in assessing the effects produced by parental occupational exposures on the offspring health.*

*The objective of the study: to analyze the risk of infant mortality in the cohort of the 1<sup>st</sup> generation offspring of the workers of Mayak Production Association (PA), the first atomic production facility in Russia.*

*Infant mortality and its components were analyzed in a cohort of children (n = 24,780) born in 1949–1973; the main group comprised 14,435 offspring of Mayak PA workers; the comparison group contained 10,345 children of unexposed parents. Incidence and relative risk of early and late neonatal, postneonatal and infant mortality were assessed taking into account the offspring sex, calendar period of birth, nosologies, parental age, categories of accumulated doses of parental preconception occupational exposure. Relative risk was calculated with 95 % confidence interval.*

*A higher incidence of postneonatal and infant mortality as a whole was established among the offspring of unexposed parents. Infectious pathology as a cause of death was registered among the offspring of Mayak PA workers statistically significantly less often than in the comparison group. Infant mortality rate in the main group was lower in parental age categories of 21–25 and 31–35 years as well as among younger fathers. A higher rate of infant mortality in certain categories of accumulated doses of occupational preconception gamma-exposure was caused by the contribution of infectious nosologies. Infant mortality due to malignant neoplasms in the main group requires further epidemiological analysis.*

© Sosnina S.F., Okatenko P.V., Sokolnikov M.E., 2024

**Svetlana F. Sosnina** – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher at Radiation Epidemiology Laboratory (e-mail: sosnina@subi.su; tel.: +7 (35130) 71-652; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1553-0963>).

**Pavel V. Okatenko** – Head of the group on hardware and software at Radiation Epidemiology Laboratory (e-mail: okatenko@subi.su; tel.: +7 (35130) 76-903; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8260-1808>).

**Mikhail E. Sokolnikov** – Doctor of Medical Sciences, Head of Epidemiology Department (e-mail: sokolnikov@subi.su; tel.: +7 (35130) 71-652; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9492-4316>).

*A retrospective analysis demonstrated higher rates of infant mortality and of its components among the children of unexposed parents that could be possibly explained through the "healthy worker effect" and better social well-being of Mayak PA personnel.*

**Keywords:** infant mortality, early neonatal death, late neonatal death, postneonatal death, radiation-hazardous production, Mayak PA, offspring of exposed parents, preconception exposure, gamma-exposure, doses to the gonads.

## References

1. Rumyantsev A.G. Priorities of fundamental pediatrics in control of infant and child mortality. *Pediatrics. Zhurnal im. G.N. Speranskogo*, 2019, vol. 98, no. 2, pp. 8–13 (in Russian).
2. Tyukov Y.A., Kosymov E.A. Hidden trends in modern sickness rate dynamics in children. *Journal of Global Pharma Technology*, 2020, vol. 12, no. 1, pp. 197–203.
3. Bobrovskaya M.A. Infant mortality in Russia. *Ekonomika i sotsium*, 2019, no. 5 (60), pp. 410–417 (in Russian).
4. Dymova I.A. Factors, forming health status of children of first year of life (Literature review). *Permskii meditsinskii zhurnal*, 2020, vol. 37, no. 1, pp. 85–92. DOI: 10.17816/pmj37185-92 (in Russian).
5. Tikhomirova T.M., Tikhomirov N.P. Econometric methods to justify measures to reduce infant and maternal mortality in Russia. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2022, no. 4, pp. 69–76. DOI: 10.17513/fr.43241 (in Russian).
6. Nurova A.A., Mirzoeva R.K., Berdysh D.S. The current situation of perinatal and infant mortality in Russia. *Vestnik Biomeditsina i sotsiologii*, 2022, vol. 7, no. 2, pp. 59–66. DOI: 10.26787/nydha-2618-8783-2022-7-2-59-66 (in Russian).
7. Borovskaya T.G., Vychuzhanina A.V., Shchemerova Yu.A., Kseneva S.I., Fomina T.I., Bohan E.A., Goldberg V.E. Long-term effects of cytostatic agents on germ cells of testicular tissue (experimental study). *Sibirskii onkologicheskii zhurnal*, 2023, vol. 22, no. 4, pp. 74–83. DOI: 10.21294/1814-4861-2023-22-4-74-83 (in Russian).
8. Coretchi L., Gincu M., Bahnarel I., Friptuleac G., Romanciuc P., Capatina A. Clinical, immunological and genetic research on the participants in mitigating the consequences of the Chernobyl nuclear accident. *One Health & Risk Management*, 2023, vol. 4, no. 1, pp. 4–19. DOI: 10.38045/ohrm.2023.1.01
9. Boice J.D. Jr. The Likelihood of Adverse Pregnancy Outcomes and Genetic Disease (Transgenerational Effects) from Exposure to Radioactive Fallout from the 1945 Trinity Atomic Bomb Test. *Health Phys.*, 2020, vol. 119, no. 4, pp. 494–503. DOI: 10.1097/HP.0000000000001170
10. Körblein A. Statistical modeling of trends in infant mortality after atmospheric nuclear weapons testing. *PLoS One*, 2023, vol. 18, no. 5, pp. e0284482. DOI: 10.1371/journal.pone.0284482
11. Scherb H.H., Mori K., Hayashi K. Increases in perinatal mortality in prefectures contaminated by the Fukushima nuclear power plant accident in Japan: A spatially stratified longitudinal study. *Medicine (Baltimore)*, 2016, vol. 95, no. 38, pp. e4958. DOI: 10.1097/MD.0000000000004958
12. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann. ICRP*, 2007, vol. 37, no. 2–4, pp. 1–332. DOI: 10.1016/j.icrp.2007.10.003
13. Tsareva Yu.V., Okatenko P.V. Mortality structure of Ozyorsk population in 1948–2013. *Voprosy radiatsionnoi bezopasnosti*, 2023, no. 1 (109), pp. 60–66 (in Russian).
14. Sosnina S.F., Kabirova N.R., Okatenko P.V., Rogacheva S.A., Tsareva Yu.V., Gruzdeva E.A., Sokolnikov M.E. Ozyorsk Children's Health register: development results, management guidelines, potential and prospects. *Meditsina ekstremal'nykh situatsii*, 2017, vol. 61, no. 3, pp. 95–103 (in Russian).
15. Napier B.A. The Mayak Worker Dosimetry System (MWDS-2013): an introduction to the documentation. *Radiat. Prot. Dosimetry*, 2017, vol. 176, no. 1–2, pp. 6–9. DOI: 10.1093/rpd/ncx020
16. Taktasheva F.A. The baby mortality in the Stalingrad region during 1940–1950s. *Kaspiiskii region: politika, ekonomika, kul'tura*, 2019, no. 1 (58), pp. 41–47. DOI: 10.21672/1818-510X-2019-58-1-041-047 (in Russian).
17. Baranov A.A. Stages and ways of reducing infant mortality in the Russian Federation: the experience of the last 30 years. *Rossiiskii pediatricheskii zhurnal*, 2017, vol. 20, no. 5, pp. 311–315. DOI: 10.18821/1560-9561-2017-20-5-311-315 (in Russian).
18. Olesova V.N., Olesov E.E., Olesov A.E. Stomatologicheskaya zaboлеваemost' rabotnikov opasnykh proizvodstv (kliniko-epidemiologicheskie i organizatsionno-ekonomicheskie aspekty) [Dental morbidity of workers in hazardous industries (clinical-epidemiological and organizational-economic aspects)]. Moscow, A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of the FMBA of Russia Publ., 2021, 288 p. (in Russian).
19. Moore M.D., Brisendine A.E., Wingate M.S. Infant mortality among adolescent mothers in the United States: a 5-Year analysis of racial and ethnic disparities. *Am. J. Perinatol.*, 2022, vol. 39, no. 2, pp. 180–188. DOI: 10.1055/s-0040-1714678
20. Khandwala Y.S., Baker V.L., Shaw G.M., Stevenson D.K., Faber H.K., Lu Y., Eisenberg M.L. Association of paternal age with perinatal outcomes between 2007 and 2016 in the United States: population based cohort study. *BMJ*, 2018, vol. 363, pp. k4372. DOI: 10.1136/bmj.k4372
21. Carslake D., Tynelius P., van den Berg G.J., Davey Smith G. Associations of parental age with offspring all-cause and cause-specific adult mortality. *Sci. Rep.*, 2019, vol. 9, no. 1, pp. 17097. DOI: 10.1038/s41598-019-52853-8
22. Balaj M., York H.W., Sripada K., Besnier E., Vonen H.D., Aravkin A., Friedman J., Griswold M. [et al.]. Parental education and inequalities in child mortality: a global systematic review and meta-analysis. *Lancet*, 2021, vol. 398, no. 10300, pp. 608–620. DOI: 10.1016/S0140-6736(21)00534-1
23. Okui T. Association between infant mortality and parental educational level: An analysis of data from Vital Statistics and Census in Japan. *PLoS One*, 2023, vol. 18, no. 6, pp. e0286530. DOI: 10.1371/journal.pone.0286530

24. Signorello L.B., Mulvihill J.J., Green D.M., Munro H.M., Stovall M., Weathers R.E., Mertens A.C., Whitton J.A. [et al.]. Stillbirth and neonatal death in relation to radiation exposure before conception: a retrospective cohort study. *Lancet*, 2010, vol. 376, no. 9741, pp. 624–630. DOI: 10.1016/S0140-6736(10)60752-0
25. Green D.M., Sklar C.A., Boice J.D. Jr., Mulvihill J.J., Whitton J.A., Stovall M., Yasui Y. Ovarian failure and reproductive outcomes after childhood cancer treatment: results from the Childhood Cancer Survivor Study. *J. Clin. Oncol.*, 2009, vol. 27, no. 14, pp. 2374–2381. DOI: 10.1200/JCO.2008.21.1839
26. Yamada M., Furukawa K., Tatsukawa Y., Marumo K., Funamoto S., Sakata R., Ozasa K., Cullings H.M. [et al.]. Congenital Malformations and Perinatal Deaths Among the Children of Atomic Bomb Survivors: A Reappraisal. *Am. J. Epidemiol.*, 2021, vol. 190, no. 11, pp. 2323–2333. DOI: 10.1093/aje/kwab099
27. Trubetskov A.D., Zhirov K.S. “The effect of healthy worker” in various areas of occupational medicine: the publications review. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny*, 2021, vol. 29, no. 2, pp. 254–259. DOI: 10.32687/0869-866X-2021-29-2-254-259 (in Russian).
28. Sosnina S.F., Okatenko P.V. Non-infectious pathology in children of female workers of nuclear industry enterprise. *Meditsinskii akademicheskii zhurnal*, 2017, vol. 17, no. 3, pp. 68–76 (in Russian).
29. Sosnina S.F., Volosnikov D.K. Gender aspects of adolescents' quality of life. *Problemy zhenskogo zdorov'ya*, 2010, vol. 5, no. 2, pp. 42–45 (in Russian).
30. Taranushenko T.E., Proskurina M.V., Kiseleva N.G. Changes in the epidemiological indicators of type 1 diabetes mellitus in children and adolescents living in the closed administrative and territorial entity. *Vrach*, 2023, vol. 34, no. 9, pp. 29–33. DOI: 10.29296/25877305-2023-09-06 (in Russian).
31. Devyatova E.O., Litvinova A.M. Influence of social and organizational factors on the late neonatal mortality in Ural Federal region. *Ural'skii meditsinskii zhurnal*, 2011, no. 12 (90), pp. 10–13 (in Russian).
32. Sukhanova L.P., Sklyar M.S. Infant and perinatal mortality in Russia: tendencies, structure, risk factors. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2007, no. 4 (4), pp. 2 (in Russian).
33. Ivanov D.O., Iurev V.K., Shevtsova K.G., Moiseeva K.E., Kharbedia Sh.D., Berezhkina E.N. Morbidity of pregnant anemia and its impact on infant mortality. *Pediatr*, 2019, vol. 10, no. 1, pp. 43–48. DOI: 10.17816/PED10143-48 (in Russian).
34. Bryukhanova O.A., Bakhitova R.Kh., Akhmadeeva E.N., Ilyina A.A. Preterm birth as the main reason for infant mortality and morbidity. *Meditsinskii vestnik Bashkortostana*, 2020, vol. 15, no. 6 (90), pp. 132–135 (in Russian).

*Sosnina S.F., Okatenko P.V., Sokolnikov M.E. The risk of infant mortality among the offspring of the workers of radiation hazardous production. Health Risk Analysis*, 2024, no. 2, pp. 85–98. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.08.eng

Получена: 16.12.2023

Одобрена: 08.05.2024

Принята к публикации: 20.06.2024

УДК 613.6.02: 37.088: 911.373.2  
DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.09

Читать  
онлайн



Научная статья

## ФАКТОРЫ РИСКА И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА НАРУШЕНИЙ ЗДОРОВЬЯ ПЕДАГОГОВ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ШКОЛ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

Н.В. Власова<sup>1</sup>, Л.М. Масыгутова<sup>1,2</sup>, Е.Г. Степанов<sup>1,3</sup>, Л.А. Рафикова<sup>1</sup>,  
Г.Р. Садртдинова<sup>1</sup>, Л.Г. Гизатуллина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека, Российская Федерация, 450106, г. Уфа, ул. Степана Кувыкина, 94

<sup>2</sup>Башкирский государственный медицинский университет, Российская Федерация, 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3

<sup>3</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет, Российская Федерация, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1

*Профессия педагога – это профессия с высоким уровнем стресса и крайне низкими показателями здоровья, которое ухудшается по мере нарастания педагогического стажа.*

*Исследованы факторы риска нарушений здоровья педагогов общеобразовательных школ сельской местности, определены значения клиничко-лабораторных показателей в качестве ранних индикаторов.*

*В работе использованы результаты гигиенических, клинических и лабораторных исследований, выполненные для оценки состояния здоровья и условий труда преподавателей общеобразовательных школ сельской местности Республики Башкортостан.*

*Выполнена оценка санитарно-гигиенического состояния класных комнат в общеобразовательных учреждениях сельской местности согласно руководству Р.2.2.2006-05. В ходе проведенного медицинского обследования у 70 педагогов диагностировано 255 различных общесоматических заболеваний. На одного обследованного педагога приходится 3,64 заболевания. При лабораторном исследовании диагностировано повышенное содержание гемоглобина у 20,00 %, низкое – у 8,57 % женщин. Эритроцитоз встречается у 64,29 % педагогов. Выявлены незначительные изменения гематокрита: у 4,29 % показатель повышен, у 8,57 % снижен. Соответственно при снижении уровня гемоглобина происходит и снижение эритроцитарных индексов MCV, MCH у 30,00–32,86 % женщин. С годами работы заметно увеличивается число работников с повышенным содержанием глюкозы и холестерина (коэффициенты корреляции – 0,94÷0,98). При исследовании микрофлоры слизистой верхних дыхательных путей выделена клинически значимая обсемененность, которая в основном представлена кокковой флорой, где наиболее значимые микроорганизмы Staphylococcus epidermidis, Staphylococcus spp. и β-haemolytic Streptococci.*

*Проведенное комплексное исследование показало, что условия труда педагогов общеобразовательных школ в сельской местности не соответствуют гигиеническим нормативам по тяжести трудового процесса и по показателям напряженности (интеллектуальные, эмоциональные, сенсорные нагрузки). Полученные результаты подтверждают высокую значимость диагностических методов в качестве индикаторов нарушений здоровья работников общеобразовательных учреждений. Профилактические мероприятия по охране здоровья педагогов в сельской местности должны проводиться с учетом особенностей патоморфоза формирования состояния их здоровья.*

**Ключевые слова:** факторы риска, состояние здоровья, педагоги, педагогическая деятельность, сельская местность, гигиеническая оценка условий труда, лабораторная диагностика, профилактические мероприятия.

© Власова Н.В., Масыгутова Л.М., Степанов Е.Г., Рафикова Л.А., Садртдинова Г.Р., Гизатуллина Л.Г., 2024

**Власова Наталья Викторовна** – кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела медицины труда (e-mail: vnv.vlasova@yandex.ru; тел.: 8 (927) 308-28-49; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3926-0937>).

**Масыгутова Ляйля Марселевна** – доктор медицинских наук, заведующий отделом медицины труда (e-mail: kdl.ufa@rambler.ru; тел.: 8 (937) 360-49-22; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0195-8862>).

**Степанов Евгений Георгиевич** – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий отделом комплексных проблем гигиены и экологии человека (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1917-8998>).

**Рафикова Линара Альфировна** – заведующий клиничко-диагностической лабораторией (e-mail: linara.s@mail.ru; тел.: 8 (917) 430-31-85; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7355-9556>).

**Садртдинова Гузаль Разитовна** – врач клиничко-биохимической лаборатории (e-mail: guzi24@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1530-5312>).

**Гизатуллина Лилия Галиевна** – биолог иммунобактериологической лаборатории (e-mail: Instityt.Ufa@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7900-233X>).



Сельские территории привлекают огромное внимание общественности России [1, 2]. Исследования, проведенные в различные годы отечественными и зарубежными специалистами, свидетельствуют о наличии выраженных негативных тенденций в формировании показателей здоровья у населения, проживающего и работающего в сельской местности. Основными проблемами для жителей сельских территорий являются низкая доступность медицинской помощи в связи с недостаточным дорожно-транспортным сообщением и низкой плотностью населения, а также недоукомплектованность и снижение финансирования медицинских учреждений [3–7]. Все вышеизложенное отражается на показателях здоровья трудоспособного сельского населения. Профессия педагога – это профессия с высоким уровнем стресса, с крайне низкими показателями здоровья, которое ухудшается по мере нарастания педагогического стажа [8, 9]. Как показывают социологические опросы, в сельской местности педагогический состав представлен более старшим возрастом, около 90,0 % учителей – женщины.

Проведенные ранее гигиенические исследования свидетельствуют, что класс условий труда педагогов оценивается как вредный по тяжести трудового процесса и по показателям напряженности (интеллектуальные, эмоциональные, сенсорные нагрузки) [10–12]. Среди основных вредных факторов риска в педагогической деятельности можно выделить высокую степень напряженности сенсорной нагрузки на органы зрения и слуха, значительную нагрузку на речевой аппарат гортани, большую концентрацию эпидемических контактов, высокое психоэмоциональное напряжение, воздействие электромагнитных волн [13]. В последнее время возросло число работ, посвященных изучению влияния вредных факторов риска на здоровье учителей (более 85 % из них проживают в сельской местности), в которых отмечаются высокие показатели нарушений опорно-двигательного аппарата (остеохондроз шейного и поясничного отделов позвоночника, радикулит), сердечно-сосудистой системы (варикозное расширение вен нижних конечностей), голосоречевых органов (острый и хронический фарингит, ларингит, певческие узелки, парез голосовых складок), нервной системы (неврозы и неврозоподобные состояния), инфекционные заболевания, аллергические формы ринита и бронхиальной астмы и прочие заболевания [14].

Как показывают многочисленные исследования в регионах РФ, показатели заболеваемости педагогов общеобразовательных школ по своей струк-

туре и в процентном соотношении имеют незначительные расхождения. По данным углубленных медицинских осмотров педагогов в Рязанской области ( $n = 263$ ), ведущее место в структуре заболеваемости занимают болезни системы кровообращения (22,3 %), болезни эндокринной системы (15,2 %), болезни нервной системы (13,3 %), болезни крови и кроветворных органов (анемии) (11,5 %) [15]. Изучение состояния здоровья учителей Ульяновска ( $n = 52$ ) показало, что ведущими нозологиями являлись патология органов зрения – 68,0 %; сердечно-сосудистые заболевания – 48,0 %; заболевания костно-мышечной системы – 44,0 % [16]. По результатам диспансеризации педагогов Центрального федерального округа ( $n = 171$ ), доля впервые выявленной варикозной болезни нижних конечностей среди болезней системы кровообращения составила 32,0 % [17]. При периодических медицинских осмотрах педагогов Казани ( $n = 2090$ ) практически у каждого четвертого работника была впервые выявлена какая-либо патология. В амбулаторном обследовании и лечении нуждались 38,9 %, а в диспансерном наблюдении – 45,5 % обследованных учителей. При этом отмечена тенденция увеличения количества заболеваний с возрастом и стажем работы [18]. В рейтинге хронических заболеваний общеобразовательных школ Астраханской области ( $n = 120$ ) лидируют болезни глаза и его придаточного аппарата – 18,3 %, системы кровообращения – 17,5 %, нервной системы – 14,2 %, органов пищеварения – 13,3 %, органов дыхания – 9,2 %, костно-мышечной системы и соединительной ткани – 1,00 % [19]. Учитывая высокую распространенность среди учителей болезней системы кровообращения, сердечно-сосудистых заболеваний, болезней опорно-двигательного аппарата, желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и др., ставится вопрос о признании большей их части профессионально обусловленными [14, 15].

В настоящее время уделяется недостаточно внимания донозологической диагностике состояния здоровья трудоспособного населения, в том числе и работников общеобразовательных учреждений. Состояние гомеостаза может служить в качестве раннего маркера метаболического и структурно-функционального изменения внутренней среды организма [20]. Были изучены некоторые регламентированные, согласно Приказу Минтруда России № 988н и Минздрава России № 1420н от 31.12.2020<sup>1</sup>, лабораторные показатели у работников общеобразовательных школ с установленными диагнозами бронхиальной астмы и хронической обструктивной болезни легких [21–23].

<sup>1</sup> Об утверждении перечня вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные медицинские осмотры при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры: Приказ Минтруда России и Минздрава России от 31 декабря 2020 года № 988н/1420н [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573473071> (дата обращения: 06.02.2024).

Таким образом, изучение воздействия факторов риска на здоровье работников общеобразовательных учреждений и реакции организма на них является важной актуальной задачей для профессиональной медицины.

**Цель исследования** – проанализировать факторы риска нарушения здоровья у педагогов общеобразовательных школ сельской местности, определить значение клинико-лабораторных показателей в качестве ранних индикаторов нарушений здоровья.

**Материалы и методы.** В работе использованы результаты комплексного гигиенического и клинико-лабораторного обследования преподавателей общеобразовательных школ сельской местности Республики Башкортостан, выполненного при проведении периодического медицинского осмотра (ПМО) в клинике института согласно Приказу Минтруда России № 988н, Минздрава России № 1420н от 31.12.2020<sup>1</sup>.

Критериями включения явились: типовой проект здания школы-десятилетки; нахождение учреждения в пределах пригородного района. В группу наблюдения вошли 70 педагогов из различных сельских районов Республики Башкортостан. Все обследованные – женщины. Мужчины были исключены из анализа в связи с малочисленностью. Средний возраст обследованных составил  $50,54 \pm 1,29$  г. (21–30 лет –  $27,40 \pm 0,39$  г. (7,14 %),  $n = 5$ ; 31–40 лет –  $33,86 \pm 0,28$  г. (10,00 %),  $n = 7$ ; 41–50 лет –  $46,78 \pm 0,34$  г. (25,71 %),  $n = 18$ ; 51–60 лет –  $56,12 \pm 0,34$  г. (44,29 %),  $n = 31$ ; более 60 лет –  $63,67 \pm 0,39$  г. (12,86 %),  $n = 9$ ).

Средний стаж по специальности –  $23,95 \pm 1,43$  г. (0–10 лет –  $n = 15$ ; 11–20 лет –  $n = 10$ ; 21–30 лет –

$n = 19$ ; более 30 лет –  $n = 26$ ). При описании некоторых представителей условно-патогенной микрофлоры две группы стажированных преподавателей (21–30 лет и более 30 лет) были объединены в одну группу ввиду отсутствия различий.

Проведена оценка санитарно-гигиенического состояния классных комнат в общеобразовательных учреждениях согласно руководству Р.2.2.2006-05<sup>2</sup>.

Хронометраж рабочего времени педагогов выполняли методом изучения затрат рабочего времени<sup>3</sup>. Для проведения исследования использовали алгоритм методики, который состоял из трех этапов:

1. Поминутная запись затрат времени на выполнение обязанностей педагога.

2. Запись всех дел с указанием начала и завершения их выполнения.

3. Изучение информации и формулирование выводов, анализ конкретных задач, стоящих перед педагогом.

Статичность рабочих поз определяли согласно оценочной системе: рабочая поза педагога – «свободная поза стоя с возможностью перемещения»<sup>4</sup>.

Производственный шум и вибрация были измерены с помощью прецизионного шумомера и анализатора спектров «Октава-101А»<sup>5</sup>.

Микроклиматический фактор изучали по трем обязательным параметрам: температурному, относительной влажности и скорости движения воздуха. Замеры проводили с использованием измерителя комбинированного Testo 425. Оценку результатов замеров микроклиматических параметров осуществляли согласно методическим указаниям МУК 4.3.2756-10<sup>6</sup>.

Исследования уровня естественной и искусственной освещенности выполняли поверенным

<sup>2</sup> Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда / утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 29 июля 2005 г., введ. в действие с 1 ноября 2005 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040973> (дата обращения: 06.02.2024).

<sup>3</sup> О продолжительности рабочего времени (нормах часов педагогической работы за ставку заработной платы) педагогических работников и о порядке определения учебной нагрузки педагогических работников, оговариваемой в трудовом договоре: Приказ Минобрнауки РФ от 22.12.2014 № 1601 (ред. от 13.05.2019) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420245392> (дата обращения: 06.02.2024).

<sup>4</sup> ГОСТ Р ИСО 6385-2016. Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем: национальный стандарт РФ / утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 октября 2016 г. № 1445-ст [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140609> (дата обращения: 06.02.2024).

<sup>5</sup> МУК 4.3.3722-21. Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях: методические указания / утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 27 декабря 2021 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/727896915> (дата обращения: 07.02.2024).

<sup>6</sup> МУК 4.3.2756-10. Методические указания по измерению и оценке микроклимата производственных помещений: методические указания / утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко 12.11.2010 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200085911> (дата обращения: 08.02.2024).

люксметром «Аргус-07» в соответствии с ГОСТ Р 55710-13<sup>7</sup>.

Анализ микробного состава окружающей среды школьных кабинетов общеобразовательного учреждения осуществлялся в холодный период времени – осень, зима и теплый период – лето. Используются специфические методы санитарной микробиологии, к которым относятся определение общего микробного числа (ОМЧ) и определение санитарно-микробиологических микроорганизмов в воздушной среде, таких как *Staphylococcus aureus* и *Streptococcus haemolyticus*. *Staphylococcus aureus* – факультативный обитатель носоглотки, зева и кожных покровов человека, *Streptococcus haemolyticus* указывает на возможное загрязнение помещений данными бактериями.

В связи с увеличением распространенности среди населения иммунодефицитных состояний, развития хронических системных и аллергических заболеваний дополнительно проведено определение содержания в воздухе количества плесневых и дрожжевых грибов.

Исследования форменных элементов крови выполнены на гематологическом анализаторе Sysmex KX-21 [24]. Осуществлен дифференциальный подсчет лейкоцитарной формулы с расчетом интегральных характеристик гомеостатических систем организма: индекса аллергизации (ИА), лейкоцитарного индекса интоксикации (ЛИИ) [25].

Биохимический скрининг состоял в определении уровня глюкозы и общего холестерина с использованием полуавтоматического анализатора Stat Fax и реагентов фирмы «Вектор Бест».

У всех обследованных педагогов изучен микробиологический пейзаж слизистой оболочки верхних дыхательных путей с использованием оптимальных селективных, дифференциально-диагностических и хромогенных питательных сред<sup>8</sup>.

Результаты исследований обработаны с использованием программного пакета прикладных программ статистического анализа Statistika for Windows с определением средних величин, показателя достоверности по коэффициенту Стьюдента ( $t$ ) и уровня значимости ( $p$ ). Стажевая детерминированность нарушений здоровья определена с помо-

щью коэффициента корреляции ( $r$ ) и непараметрического критерия  $\chi^2$ .

**Результаты и их обсуждение.** В ходе проведения санитарно-гигиенических исследований условий труда педагогов общеобразовательных учреждений сельской местности проанализированы результаты рабочего времени, замеров интенсивности шума, микроклимата, искусственной освещенности и эколого-гигиенической оценки воздушной среды классных комнат.

Проведенный хронометраж рабочего времени позволил распределить весь рабочий день педагога на несколько крупных функциональных блоков, обусловленных: перцептивной функцией, связанной с наблюдением за обстановкой в классе; академической функцией, связанной с изложением нового материала; контрольной функцией, связанной с оценкой учеников; организаторской функцией, связанной с организацией эффективной работы учеников; коммуникативной функцией, связанной с адекватным общением как с отдельными учениками, так и классом в целом.

Выполнение всех функциональных обязанностей требует соблюдения рабочей позы стоя до 71–75 % рабочего времени.

Кроме нормативной учебной нагрузки, часть времени занимает подготовка к урокам (3–4 ч), проверка тетрадей и домашних заданий. Добавляется время на классное руководство, проведение культурно-массовых мероприятий, работу с родителями, контроль за дисциплиной учащихся. В районных сельских школах преподаватели, помимо основной работы, выполняют дополнительную работу на пришкольных участках.

Педагоги общеобразовательных школ испытывают воздействие непостоянного повышенного уровня шума. Замеры интенсивности уровней шума по эквивалентному уровню звука по шкале дБА во время урока не превышают допустимых значений и соответствуют 55 дБА.

Передвижения и громкие разговоры учащихся в коридорах и иных помещениях общеобразовательного учреждения во время каждой перемены сопровождаются повышением уровня шума до 95 дБ. Следовательно, класс условий труда по уров-

<sup>7</sup> ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений: Национальный стандарт РФ / утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 ноября 2013 г. № 1364-ст [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105707> (дата обращения: 08.02.2024).

<sup>8</sup> МУ 4.2.2039-05. Техника сбора и транспортирования биоматериалов в микробиологические лаборатории: методические указания / утв. и введ. в действие Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 23 декабря 2005 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200044664> (дата обращения: 10.02.2024); МУК 4.3.3722-21. Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях: методические указания / утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 27 декабря 2021 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/727896915> (дата обращения: 07.02.2024).

ню шума в изученных учреждениях оценен как вредный первой степени – 3.1.

Основная часть рабочего времени педагога предполагает нахождение в школьном помещении с определенными параметрами микроклимата. В анализируемых учебных заведениях нами было установлено соответствие температурных показателей и относительной влажности воздуха гигиеническим нормативам лишь в холодное время года. Весенне-осенний и летний периоды характеризовались повышением температуры и повышенной сухостью воздуха в классных комнатах. Скорость движения воздуха в течение всего года не превышала 0,1 м/с.

Проведены замеры уровня естественного и искусственного освещения классных комнат. Естественное освещение в начале учебного года ( $152,9 \pm 33,5$  лк) было достоверно ниже, чем в конце ( $620,4 \pm 92,9$  лк) ( $p < 0,05$ ). В начале учебного года коэффициент естественного освещения (КЕО) составлял 3,1 %, в конце учебного года – 4,1 %, что соответствует гигиеническим требованиям.

Проведенный анализ микробиологического состояния воздушной среды классных комнат позволил установить, что общее содержание в осенне-зимний период составляет в среднем 360 КОЕ/м<sup>3</sup>. Структуру санитарно-показательных микроорганизмов составили *Staphylococcus aureus* в количестве 23,5 КОЕ/м<sup>3</sup>, *Streptococcus haemolyticus* – 14,0 КОЕ/м<sup>3</sup> и плесневые грибы – 8,0 КОЕ/м<sup>3</sup>.

Исследования, проведенные в летний период, выявили, что общая микробная обсемененность воздушной среды составила 369 КОЕ/м<sup>3</sup>, при этом анализ выделенных санитарно-показательных бактерий продемонстрировал небольшое снижение количества *Staphylococcus aureus* до 22 КОЕ/м<sup>3</sup>, плесневых грибов – до 6 КОЕ/м<sup>3</sup>. Кроме того, впервые в пробах воздуха идентифицировали неферментирующие грамотрицательные микроорганизмы рода *Pseudomonas* – *Ps. aeruginosa* в количестве 2 КОЕ/м<sup>3</sup>, но в то же время выявлено отсутствие *Streptococcus haemolyticus*.

При проведении ПМО выявлено, что лидирующее положение занимают болезни системы кровообращения (БСК) и болезни костно-мышечной системы (КМС). БСК представлены артериальной гипертензией у 70,0 %, ишемической болезнью сердца – у 4,29 % и острыми нарушениями мозгового кровообращения – у 2,86 % женщин. Болезни КМС в основном представлены полиостеоартрозом с поражением крупных суставов и выявлены у 61,43 % обследованных. Патология нервной системы проявлялась цереброваскулярными заболеваниями у 35,71 % и расстройствами вегетативной нервной системы у 4,29 % педагогов. Болезни органов пищеварения, которые представлены хроническим гастритом, хроническим панкреатитом, язвенной болезнью желудка выявлены у 38,57 % обследованных женщин. Осмотр врача-гинеколога диагностировал различные воспалительные заболевания женской половой сферы у 31,43 % женщин.

Болезни органов дыхания, такие как бронхиальная астма и хроническая обструктивная болезнь легких, обнаружены у 11,43 % лиц. В ходе проведенного медицинского обследования у 70 педагогов диагностировано 255 различных общесоматических заболеваний. На одного обследованного педагога приходится 3,64 заболевания.

В микробиоте слизистой верхних дыхательных путей установлено наличие клинически значимой ( $10^5$  КОЕ/тампон) обсемененности микроорганизмами, в основном она представлена кокковой и грибковой флорой (табл. 1). В большинстве проб биоматериала из верхних дыхательных путей были идентифицированы *β-haemolytic Streptococcus* – у 35,71 %, *Staphylococcus epidermidis* – у 18,57 %, *Staphylococcus aureus* – у 8,57 %, и из дрожжеподобных грибов преобладали дрожжевые грибы рода *Candida albicans* – у 25,71 %.

Таблица 1

Частота обнаружения некоторых представителей условно-патогенной микрофлоры у преподавателей районных школ

Выделенный микроорганизм	Частота выделения возбудителей (%), <i>n</i> = 70
<i>Staphylococcus aureus</i>	8,57
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	18,57
<i>β-haemolytic Streptococcus</i>	35,71
<i>Enterococcus spp.</i>	28,13
<i>Candida albicans</i>	25,71

С увеличением стажа у работников общеобразовательных школ частота выделения некоторых микроорганизмов изменяется. После 10 лет работы *β-haemolytic Streptococcus* и *Staphylococcus epidermidis*, *Candida albicans* высеваются в 1,5–2,0 раза чаще (табл. 2).

Таблица 2

Частота обнаружения некоторых представителей условно-патогенной микрофлоры у преподавателей районных школ в динамике лет работы (%)

Выделенный микроорганизм	Частота выделения возбудителей, %		
	стаж 0–10 лет, <i>n</i> = 15	стаж 11–20 лет, <i>n</i> = 10	стаж 21–30 лет, <i>n</i> = 45
<i>Staphylococcus aureus</i>	-	20,00	-
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	13,33	20,00	21,43
<i>β-haemolytic Streptococcus</i>	26,60	20,00	57,14
<i>Enterococcus spp.</i>	42,86	-	35,71
<i>Candida albicans</i>	-	10,00	28,88

Примечание: «-» – микроорганизмы не выявлены.

Таблица 3

Частота отклонений от нормы гематологических показателей у педагогов районных школ  
Республики Башкортостан, %

Направление отклонения показателей от возрастных физиологических норм	Группа наблюдения, $n = 70$
Гемоглобин, г/л	$20,00 \pm 4,82$
Эритроциты, $10^{12}/л$	$8,57 \pm 3,37$
Гематокрит, %	$64,29 \pm 5,77$
MCV	$4,29 \pm 2,44$
MCH	$8,57 \pm 3,37$
MCHC	$30,00 \pm 5,52$
Лейкоциты, $10^9/л$	$32,86 \pm 5,65$
Сегментоядерные, %	$2,86 \pm 2,01$
Эозинофилы, %	$18,57 \pm 4,68$
Лимфоциты, %	$5,71 \pm 2,79$
СОЭ, мм/ч	$24,29 \pm 5,16$
Тромбоциты, $10^9/л$	$44,29 \pm 5,98$
Индекс алергизации	$25,71 \pm 5,26$
Лейкоцитарный индекс интоксикации	$11,43 \pm 3,83$
Глюкоза	$5,00 \pm 2,62$
Холестерин	$78,57 \pm 4,94$
	$82,86 \pm 4,54$
	$11,43 \pm 3,83$
	$17,14 \pm 4,54$

Установлена функциональная связь всех выделенных микроорганизмов со стажем у обследованных педагогов: *Candida albicans* –  $r > 0,56$ , *Enterococcus* spp. –  $r < 0,80$ .

Гематологическое исследование показало, что у всех обследованных педагогов средние показатели общего анализа крови находятся в пределах референтных значений (содержание гемоглобина –  $132,77 \pm 1,50$  г/л, эритроцитов –  $(4,86 \pm 0,05) \cdot 10^{12}$ , гематокрита –  $39,58 \pm 0,36$  %, лейкоцитов –  $(6,46 \pm 0,22) \cdot 10^9$  и тромбоцитов –  $(242,03 \pm 7,45) \cdot 10^9$ ). Средние значения показателей ИА и ЛИИ превышают референтные значения (ИА –  $2,20 \pm 0,19$ , ЛИИ –  $5,17 \pm 0,46$ ).

Сравнительный анализ встречаемости отклонений гематологических показателей приведен в табл. 3.

Показатели красной крови характеризуются как повышенным, так и пониженным содержанием гемоглобина, эритроцитов, гематокрита. Повышенное содержание гемоглобина – более 142 г/л отмечается у 20,00 % женщин, низкое содержание гемоглобина – менее 116 г/л – у 8,57 %. Эритроцитоз встречается у 64,29 % педагогов. У обследованных лиц выявлены незначительные изменения гематокрита: у 4,29 % показатель повышен, у 8,57 % снижен. Происходит снижение эритроцитарных индексов MCV, MCH у 30,00–32,86 % женщин. Увеличение числа эозинофильных гранулоцитов было диагностировано у 24,29 % женщин. Расчет лейкоцитарного индекса интоксикации и индекса алергизации продемонстрировал высокие значения среди педагогов: лейкоцитарный индекс интоксикации диагностирован у 82,86 %, индекс

аллергизации – у 78,57 %. По результатам биохимических исследований сыворотки крови у педагогов сельских школ выявлено нарушение углеводного обмена. Повышенное содержание глюкозы встречается у 11,43 % обследованных. Высокие уровни содержания холестерина выявлены у 17,14 % преподавателей.

Частота отклонений гематологических и биохимических показателей у педагогов в зависимости от стажа работы представлена в табл. 4.

С увеличением трудового стажа у педагогов отмечается повышенное содержание гемоглобина: от 13,33 % в первые годы работы и до 23,08 % при стаже 30 лет и более. Эритроцитоз повышен на протяжении всего трудового стажа. Показатель гематокрита возрастает у стажированных педагогов, проработавших 30 лет и более. Непараметрический критерий  $\chi^2$  применен для показателей красной крови. Достоверность установлена для показателей гемоглобина ( $\chi^2 = 7,68$ ;  $p < 0,0025$ ), эритроцитов ( $\chi^2 = 6,32$ ;  $p < 0,05$ ), гематокрита ( $\chi^2 = 1,21$ ;  $p < 0,9$ ). Корреляционная связь стажа работы с показателями красной крови достигает 0,80–0,94, однако корреляции с возрастом не установлено. Соответственно, при снижении уровня гемоглобина происходит и снижение маркеров гипохромии – эритроцитарных индексов MCV и MCH.

Повышенное количество эозинофильных гранулоцитов диагностировано у 33,33 % женщин в начале педагогического стажа с незначительным его снижением до 23,08 % у стажированных лиц ( $\chi^2 = 0,51$ ;  $p > 0,9$ ). По мере увеличения стажа наблюдается тенденция к увеличению частоты лейкоцитарных индексов. Индекс алергизации повышен

Таблица 4

Частота отклонений от нормы гематологических и биохимических показателей у педагогов в зависимости от стажа работы, %

Направление отклонения показателей	Группа наблюдения			
	Трудовой стаж, лет			
	0–10, n = 15	11–20, n = 10	21–30, n = 19	Более 30, n = 26
Гемоглобин, г/л	26,67 ± 11,82	-	10,53 ± 7,23	-
< 116 г/л (ж)	13,33 ± 9,09	30,00 ± 15,28	10,53 ± 7,23	23,08 ± 8,43; $\chi^2 = 7,68$ ; $p > 0,025$
> 142 г/л (ж)				
Эритроциты, $10^{12}/л$	60,00 ± 13,09	60,00 ± 16,33	68,42 ± 10,96	92,31 ± 5,33; $\chi^2 = 6,32$ ; $p > 0,05$
> $4,7 \cdot 10^{12}/л$				
Гематокрит, %	-	-	5,26 ± 5,26	7,69 ± 5,33; $\chi^2 = 1,21$ ; $p > 0,9$
> 44 % (ж)				
< 36 %	20,00 ± 10,69	-	15,79 ± 8,59	-
MCV < 80 фл	33,33 ± 12,60	20,00 ± 13,33	36,84 ± 11,37	26,92 ± 8,87
МСН < 27 пг	46,67 ± 13,33	20,00 ± 13,33	42,11 ± 11,64	23,08 ± 8,43
Лейкоциты, $10^9/л$	6,67 ± 6,67	40,00 ± 16,33	15,79 ± 8,59	7,69 ± 5,33
> $8,8 \cdot 10^9/л$				
Сегментоядерные, %		10,00 ± 10,00	5,26 ± 5,26	3,85 ± 3,85
> 70 %				
Эозинофилы, %	33,33 ± 12,60	20,00 ± 13,33	10,53 ± 7,23	23,08 ± 8,43; $\chi^2 = 0,51$ ; $p > 0,9$
> 5 %				
Лимфоциты, %	13,33 ± 9,09	20,00 ± 13,33	52,63 ± 11,77	50,00 ± 10,00
> 40 %				
Тромбоциты, $10^9/л$	20,00 ± 10,69	20,00 ± 13,33	10,53 ± 7,23	3,85 ± 3,85
> $320 \cdot 10^9/л$				
< $160 \cdot 10^9/л$	6,67 ± 6,67	-	-	7,69 ± 5,33
Индекс Аллергизации	73,33 ± 11,82	90,00 ± 10,00	78,95 ± 9,61	76,92 ± 8,43; $\chi^2 = 1,32$ ; $p > 0,9$
> 1,2 у.е.				
Лейкоцитарный индекс интоксикации	80,00 ± 10,69	100,00 ± 0,00	73,68 ± 10,38	84,62 ± 7,22; $\chi^2 = 0,14$ ; $p > 0,95$
> 2,1 у.е.				
Глюкоза > 6,1	-	20,00 ± 13,33	15,79 ± 8,59	15,38 ± 7,22; $\chi^2 = 2,56$ ; $p > 0,9$
Холестерин > 5,2	33,33 ± 12,60	30,00 ± 15,28	15,79 ± 8,59	3,85 ± 3,85

Примечание: «-» – изменения не выявлены.

у 73,33 % педагогов при работе от 0 до 10 лет и у 76,92 % при стаже более 30 лет ( $\chi^2 = 1,32$ ;  $p < 0,9$ ). Аналогично выявлены высокие показатели лейкоцитарного индекса интоксикации у 80,00 % женщин. В дальнейшем частота этого показателя увеличивается до 84,62 % ( $\chi^2 = 0,14$ ;  $p > 0,95$ ).

С годами работы заметно возрастает число работников с повышенным содержанием глюкозы – у 15,79 %, и холестерина – у 30,00 %, корреляционная связь ( $r$ ) которых достигает от 0,94 до 0,98. Достоверность выявлена для показателя глюкозы ( $\chi^2 = 2,56$ ;  $p < 0,9$ ).

Проведенное гигиеническое исследование показало, что условия труда преподавателей, работающих в сельской местности, оценены по тяжести трудового процесса как вредные 1-й степени (класс 3.1); по напряженности трудового процесса – как класс 3.1–3.2. Полученные результаты гигиенических исследований педагогов общеобразовательных учреждений согласуются с литературными данными [10, 11].

Исследование факторов риска БСК позволило установить, что у преподавателей в возрасте старше 40 лет отмечается неустойчивое артериальное давление, ишемическая болезнь сердца. Около 60 % педагогов отмечают, что ежедневная стрессорная нагрузка, особенно в период подготовки к итоговой аттестации (с апреля по июнь), приводит к обострению сердечно-сосудистых заболеваний. Повышенные уровни холестерина также свидетельствуют о возросшем риске развития атерогенных процессов в организме и увеличивают частоту формирования заболеваний сердечно-сосудистой системы.

Учителя предъявляют жалобы на боли в спине и ногах, которые связывают с длительным напряжением скелетной мускулатуры.

В анамнезе более половины обследованных указывают на частые (более 3–4 раз в год) воспалительные заболевания верхних дыхательных путей (ларингиты, трахеиты, ангины и др.), которые они зачастую в связи с производственной необходимостью переносят «на ногах».

Полученные нами данные подтверждают результаты других исследователей, отмечающих повышенный уровень распространенности хронических неинфекционных заболеваний в изучаемой категории работников [11, 26, 27].

С увеличением профессионального стажа у обследованных женщин определяются повышенные показатели уровня гемоглобина, эритроцитов и гематокрита. Это может быть связано с напряжением функций организма в связи с гипоксией и мобилизацией компенсаторных механизмов. У педагогов выявлены изменения морфологических свойств красной крови в виде анизоцитоза, пойкилоцитоза, полихромазии.

Преподавательский состав большую часть времени проводит на рабочем месте, в помещениях, воздух которых содержит множество микроорганизмов. В процессе исследования микрофлоры слизистых верхних дыхательных путей идентифицированы те же штаммы микроорганизмов, что и при микробиологическом исследовании воздушной среды школьных помещений. Следует предположить, что формирование болезней органов дыхания (бронхиальной астмы, ХОБЛ) у обследуемых педагогов происходит под воздействием различных видов микроорганизмов и их комбинаций. Также в ходе работы работники сферы образования сталкиваются с воздействием пылевой (аллергенной) нагрузки в связи с необходимостью просмотра и чтения большого объема литературы, архивных документов. Выделенные микроорганизмы, повышенные уровни индекса аллергизации, лейкоцитарного индекса интоксикации, эозинофилов указывают на снижение сопротивляемости, формирование сенсibilизации и аллергизации организма. Это согласуется с ранее проведенными исследованиями аналогичных показателей гомеостаза среди работников непроизводственной сферы [21].

**Выводы.** Проведенные санитарно-гигиенические исследования свидетельствуют, что условия труда педагогов общеобразовательных школ в сельской местности соответствуют классу 3.1–3.2.

Факторами риска являются:

- повышенная микробная обсемененность школьных помещений, где педагоги проводят значительную часть рабочего времени;
- сохранение рабочей позы «стоя» в течение 80 % рабочего времени;

- стрессорность профессиональной деятельности;

- ограниченная доступность медицинской помощи в связи с недостаточным дорожно-транспортным сообщением и низкой плотностью населения;

- недоукомплектованность и снижение финансирования медицинских учреждений.

Реализация рисков подтверждается данными медицинской статистики и углубленными обследованиями состояния здоровья педагогов. Так, болезни органов дыхания обнаружены у 11,4 % учителей. В ходе проведенного медицинского обследования диагностировано 255 различных общесоматических заболеваний. На одного обследованного сельского педагога приходится 3,64 заболевания.

По данным ПМО фиксируется высокая распространенность хронической патологии у педагогов, работающих в сельской местности. Наиболее значимыми являются болезни системы кровообращения (71,43 %) и болезни костно-мышечной системы (61,43 %). Результаты гематологического обследования выявили повышенные уровни гемоглобина (20,00 %), эритроцитов (64,29 %) и гематокрита (4,29 %) у обследованных лиц, структурные и функциональные свойства красной крови, характеризующиеся изменением величины и формы эритроцитов, лабораторные признаки сенсibilизации организма (эозинофилию, повышение индекса аллергизации).

Проведенные микробиологические исследования позволили выделить клинически значимые концентрации *β-haemolytic Streptococcus* (35,71 %), *Staphylococcus epidermidis* (18,57 %), *Staphylococcus aureus* (8,57 %), которые ведут к снижению сопротивляемости и резкому угнетению компенсаторно-адаптивных возможностей организма.

Представляется крайне актуальной разработка комплексных планов по оздоровлению педагогов общеобразовательных школ, расположенных на сельских территориях. Комплекс медико-профилактических мероприятий по охране здоровья преподавателей в сельской местности необходимо проводить с учетом особенностей патоморфоза формирования состояния их здоровья.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Мищенко И.В., Пуричи В.В. Интеллигенция как опорный субъект социального развития сельских территорий: региональный аспект [Электронный ресурс] // Экономика Профессия Бизнес. – 2016. – Т. 4. – С. 69–75. – URL: <http://journal.asu.ru/ec/article/view/1437> (дата обращения: 15.02.2024).
2. Ушачев И.Г., Бондаренко Л.В., Чекалин В.С. Основные направления комплексного развития сельских территорий России // Вестник Российской Академии Наук. – 2021. – Т. 91, № 4. – С. 316–325. DOI: 10.31857/S0869587321040113
3. Современные проблемы жизнеобеспечения населения сельских территорий / И.Н. Меренкова, А.И. Добрунова, А.А. Сидоренко, О.А. Жарикова // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2020. – № 2 (26). – С. 208–218.



4. Проваленова Н.В., Касимов А.А. Ключевые проблемы и основные направления развития социальной инфраструктуры сельских территорий // Вестник НГИЭИ. – 2021. – № 3 (118). – С. 93–104. DOI: 10.24412/2227-9407-2021-3-93-104
5. Сабирова З.З., Буранбаева Л.З., Юлдыбаев Б.Р. Медицина на селе: Современное состояние и финансирование, проблемы и перспективы развития // Вестник Башкирского института социальных технологий. – 2020. – № 1 (46). – С. 103–107.
6. Блинова Т.В., Вьялшина А.А., Русановский В.А. Отношение сельского населения к своему здоровью и доступности медицинской помощи // Экология человека. – 2020. – № 12. – С. 52–58. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-12-52-58
7. Сельское здравоохранение России. Состояние, проблемы, перспективы / В.М. Чернышев, М.И. Воевода, О.В. Стрельченко, И.Ф. Мингазов // Сибирский научный медицинский журнал. – 2022. – Т. 42, № 4. – С. 4–14. DOI: 10.18699/SSMJ20220401
8. Труд и здоровье учителей общеобразовательных школ в современных условиях / Е.Г. Степанов, Р.М. Фасиков, Н.А. Диденко, В.С. Акимов, И.Б. Ишмухаметов // Медицина труда и промышленная экология. – 2010. – № 6. – С. 24–27.
9. Соловьева М.В. Охрана труда педагогических работников в сравнении с международной практикой // Актуальные проблемы юриспруденции и пути решения: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. – Омск, 2017. – Т. 4. – С. 70–75.
10. Системный подход в оценке напряженности труда и умственной работоспособности / А.В. Капустина, О.И. Юшкова, В.В. Матюхин, С.А. Калинина, Х.Т. Ониани // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. – 2016. – № 1. – С. 23–33.
11. Проблемы сохранения и укрепления здоровья педагогов в современных условиях / Е.Г. Степанов, Т.К. Ларионова, А.Ш. Галикеева, Л.Б. Овсянникова // Медицина труда и экология человека. – 2016. – № 1 (5). – С. 33–39.
12. Условия труда и состояния здоровья педагогов общеобразовательных организаций (обзор литературы) / В.А. Панков, Е.В. Катаманова, Н.В. Сливнищина, Е.А. Бейгель, А.Д. Павлов, А.С. Винокурова // Гигиена и санитария. – 2022. – Т. 101, № 8. – С. 940–946. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-8-940-946
13. Надеина Л.Е. Анализ профессиональной заболеваемости педагогов // Вестник Донецкого педагогического института. – 2018. – № 2. – С. 134–140.
14. Пестерева Д.В. Профессиональные факторы риска для здоровья педагогов // Академический журнал Западной Сибири. – 2020. – Т. 16, № 1 (84). – С. 18–20.
15. Введенский А.И. Исследование заболеваемости работников образовательной бюджетной сферы: медико-социальные факторы // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2019. – № 27 (5). – С. 847–852. DOI: 10.32687/0869-866X-2019-27-5-847-852
16. Жуков О.Ф., Россошанская Н.С. Профессиональное здоровье учителя // Ученые записки института им. П.Ф. Лесгафта. – 2011. – № 3 (73). – С. 75–78.
17. Состояние здоровья учителей по результатам самооценки и дополнительной диспансеризации / Е.Н. Ильякаева, Р.М. Такаев, Е.Г. Степанов, Р.М. Фасиков, Г.С. Степанова // Здоровье населения и среда обитания – ЗНСО. – 2009. – № 1 (190). – С. 25–28.
18. Оценка состояния здоровья работников образовательных учреждений Казани / А.В. Шулаев, Р.М. Степанов, К.А. Шайхутдинова, Р.В. Гарипова, С.В. Кузьмина, М.М. Сабитова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 3–1 (117). – С. 139–143. DOI: 10.23670/IRJ.2022.117.3.025
19. Анализ показателей здоровья учителей общеобразовательных учреждений / А.А. Антонова, Г.А. Яманова, Е.А. Павельева, П.М. Абдурахимова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 12–2 (114). – С. 143–145. DOI: 10.23670/IRJ.2021.114.12.060
20. Особенности иммунограммы у лиц, проживающих в экологически неблагоприятных / Н.Ш. Ахметова, К.С. Тебеннова, К.М. Туганбекова, А.М. Рахметова // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 2. – С. 9–12.
21. Комплексный анализ результатов лабораторного обследования пациентов с установленным диагнозом бронхиальной астмы / Е.Р. Абдрахманова, Н.В. Власова, Л.М. Масягутова, Л.Г. Гизатуллина, Л.А. Рафикова, Г.М. Чудновец // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. – 2021. – Т. 25, № 3. – С. 209–218. DOI: 10.22363/2313-0245-2021-25-3-209-218
22. Distribution of asthma by occupation: Washington State behavioral risk factor surveillance system data, 2006–2009 / N.J. Anderson, Z.J. Fan, C. Reeb-Whitaker, D.K. Bonauto, E. Rauser // J. Asthma. – 2014. – Vol. 51, № 10. – P. 1035–1042. DOI: 10.3109/02770903.2014.939282
23. Афанасьев Н.Е., Позднякова О.Ю. Фармакотерапия обострения хронической обструктивной болезни легких в сельских стационарах Ставропольского края // Практическая медицина. – 2022. – Т. 20, № 7. – С. 96–99. DOI: 10.32000/2072-1757-2022-7-96-99
24. Лабораторная гематология / С.А. Луговская, В.Т. Морозова, М.Е. Почтарь, В.В. Долгов. – М.: ЮНИМЕД-пресс, 2002. – 120 с.
25. Интегральные гематологические показатели и их использование в диагностике токсического влияния химических факторов на организм работников современного химического производства / Г.В. Тимашева, О.В. Валеева, Г.Г. Бадамшина, А.З. Фагамова // Актуальные проблемы профилактической медицины, среды обитания и здоровья населения: Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов научно-исследовательских организаций Роспотребнадзора. – Уфа, 2013. – С. 207–212.
26. Vangelova K., Dimitrova I., Tzenova B. Work ability of aging teachers in Bulgaria // Int. J. Occup. Med. Environ. Health. – 2018. – Vol. 31, № 5. – P. 593–602. DOI: 10.13075/ijomh.1896.01132

27. Associations between effort-reward imbalance and health indicators among school teachers in Chuquisaca, Bolivia: a cross-sectional study / M.T. Solis-Soto, A. Schön, M. Parra, K. Radon // *BMJ Open*. – 2019. – Vol. 9, № 3. – P. e025121. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-025121

*Факторы риска и комплексная оценка нарушений здоровья педагогов общеобразовательных школ в сельской местности / Н.В. Власова, Л.М. Масыгутова, Е.Г. Степанов, Л.А. Рафикова, Г.Р. Садртдинова, Л.Г. Гизатуллина // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 99–110. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.09*

UDC 613.6.02: 37.088: 911.373.2  
DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.09.eng



Research article

## RISK FACTORS AND INTEGRATED ASSESSMENT OF HEALTH DISORDERS IN TEACHERS OF RURAL COMPREHENSIVE SCHOOLS

**N.V. Vlasova<sup>1</sup>, L.M. Masyagutova<sup>1,2</sup>, E.G. Stepanov<sup>1,3</sup>,  
L.A. Rafikova<sup>1</sup>, G.R. Sadrtidinova<sup>1</sup>, L.G. Gizatullina<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, 94 Stepana Kuvykina St., Ufa, 450106, Russian Federation

<sup>2</sup>Bashkir State Medical University, 3 Lenina St., Ufa, 450008, Russian Federation

<sup>3</sup>Ufa State Petroleum Technological University, 1 Kosmonavtov St., Ufa, 450064, Russian Federation

*Teaching is an occupation with high stress levels and extremely poor health indicators, which tend to decline as working records become longer.*

*The aim of this study was to investigate risk factors able to cause health issues in teachers of rural comprehensive schools and to determine the significance of clinical and laboratory indices as early indicators.*

*The work uses the results of hygienic, clinical and laboratory studies aimed at assessing health and working conditions of teachers employed at comprehensive schools in rural areas of the Republic of Bashkortostan.*

*Sanitary and hygienic conditions in classrooms of rural comprehensive schools were assessed in conformity with the Guide R 2.2.2006-05. Medical check-ups resulted in 255 various somatic diseases diagnosed in 70 teachers, overall, 3.64 diseases per one examined teacher. Laboratory tests revealed elevated hemoglobin levels in 20.00 % of the examined female teachers and low ones in 8.57 %. Erythrocytosis was established in 64.29 % of the examined teachers. We also established some slight changes in hematocrit levels, which were elevated in 4.29 % and low in 8.57 % of the examined teachers. Accordingly, in case hemoglobin levels were low, erythrocyte indices MCV and MCH went down as well in 30.00–32.86 % of the female teachers. The number of workers with elevated glucose and cholesterol levels went up as their work records grew longer (the correlation coefficients were 0.94÷0.98). Examination of microflora found in the upper airway mucosa revealed clinically significant contamination, which was mostly represented by cocci bacteria, the most significant microorganisms being *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus spp* and  $\beta$ -haemolytic streptococci.*

© Vlasova N.V., Masyagutova L.M., Stepanov E.G., Rafikova L.A., Sadrtidinova G.R., Gizatullina L.G., 2024

**Natalia V. Vlasova** – Candidate of Biological Sciences, Researcher of the Occupational Medicine Department (e-mail: vnv.vlasova@yandex.ru; tel.: +7 (927) 308-28-49; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3926-0937>).

**Lyaylya M. Masyagutova** – Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Occupational Medicine and Human Ecology (e-mail: kdl.ufa@rambler.ru; tel.: +7 (347) 255-19-48; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0195-8862>).

**Evgenii G. Stepanov** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Complex Problems of Hygiene and Human Ecology (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1917-8998>).

**Linara A. Rafikova** – Head of the Clinical and Diagnostic Laboratory (e-mail: linara.s@mail.ru; tel.: +7 (917) 430-31-85; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7355-9556>).

**Guzal R. Sadrtidinova** – doctor of the clinical-biochemical laboratory (e-mail: guzi24@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1530-5312>).

**Liliya G. Gizatullina** – biologist of the immune-bacteriological laboratory (e-mail: Instityt.Ufa@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7900-233X>).

*Our integrated study has shown that working conditions at workplaces of teachers in rural comprehensive schools do not conform to safety standards as per work hardness and work intensity (intellectual, emotional and sensory loads). The study results confirm high importance of diagnostic methods as indicators of health issues in teachers employed at comprehensive schools. Preventive measures aimed at protecting teachers' health in rural areas should consider peculiarities of pathomorphosis that determines their health status.*

**Keywords:** risk factors, health status, teachers, pedagogical activity, rural areas, hygienic assessment of working conditions, laboratory diagnostics, preventive activities.

## References

1. Mishchenko I.V., Purichi V.V. Intelligentsiya kak opornyy sub"ekt sotsial'nogo razvitiya sel'skikh territorii: regional'nyi aspekt [Intelligentsia as a core subject of social development of rural areas: a regional aspect]. *Economics Profession Business*, 2016, vol. 4, pp. 69–75. Available at: <http://journal.asu.ru/ec/article/view/1437> (February 15, 2024) (in Russian).
2. Ushachev I.G., Bondarenko L.V., Chekalin V.S. Osnovnyye napravleniya kompleksnogo razvitiya sel'skikh territorii Rossii [Main directions of integrated development of rural territories in Russia]. *Vestnik Rossiiskoi Akademii Nauk*, 2021, vol. 91, no. 4, pp. 316–325. DOI: 10.31857/S0869587321040113 (in Russian).
3. Merenkova I.N., Dobrunova A.I., Sidorenko A.A., Zharikova O.A. Infrastructure development of rural areas on the basis of private – public partnership. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*, 2020, no. 2 (26), pp. 208–218 (in Russian).
4. Provalenova N.V., Kasimov A.A. Key problems and main directions of development of social infrastructure in rural areas. *Vestnik NGIEI*, 2021, no. 3 (118), pp. 93–104. DOI: 10.24412/2227-9407-2021-3-93-104 (in Russian).
5. Sabirova Z.Z., Buranbaeva L.Z., Yuldybaev B.R. Meditsina v sel'skoi mestnosti: sovremennoe sostoyanie i finansirovanie, problemy i perspektivy razvitiya [Healthcare in rural areas: Current status and financing, problems and development prospects]. *Vestnik Bashkirskogo instituta sotsial'nykh tekhnologii*, 2020, no. 1 (46), pp. 103–107 (in Russian).
6. Blinova T.V., Vyalshina A.A., Rusanovskiy V.A. Self-perceived health, availability of medical care and health attitudes among rural population in Russia. *Ekologiya cheloveka*, 2020, no. 12, pp. 52–58. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-12-52-58 (in Russian).
7. Chernyshev V.M., Voevoda M.I., Strelchenko O.V., Mingazov I.F. Rural healthcare of Russia. Status, problems, prospects. *Sibirskii nauchnyi meditsinskii zhurnal*, 2022, vol. 42, no. 4, pp. 4–14. DOI: 10.18699/SSMJ20220401 (in Russian).
8. Stepanov E.G., Fasikov R.M., Didenko N.A., Akimova V.S., Ishmoukhametov I.B. Work and health of comprehensive school teachers nowadays. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2010, no. 6, pp. 24–27 (in Russian).
9. Solov'eva M.V. Okhrana truda pedagogicheskikh rabotnikov v sravnenii s mezhdunarodnoi praktikoi [Labor protection of teaching staff in comparison with international practice]. *Aktual'nye problemy yurisprudentsii i puti resheniya [Current problems of jurisprudence and solutions to them]: sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Omsk, 2017, vol. 4, pp. 70–75 (in Russian).
10. Kapustina A.V., Yushkova O.I., Matyukhin V.V., Kalinina S.A., Oniani Ch.T. The system approach to the intensity of work and mental performance. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya*, 2016, no. 1, pp. 23–33 (in Russian).
11. Stepanov E.G., Larionova T.K., Galikeyeva A.Sh., Ovsiannikova L.B. Problems of health maintenance and promotion among teachers under modern conditions. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*, 2016, no. 1 (5), pp. 33–39 (in Russian).
12. Pankov V.A., Katamanova E.V., Slivnitsyna N.V., Beigel E.A., Pavlov A.D., Vinokurova A.S. Working conditions and the state of health in teachers of secondary schools (literature review). *Gigiena i sanitariya*, 2022, vol. 101, no. 8, pp. 940–946. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-8-940-946 (in Russian).
13. Nadeina L.E. Analiz professional'noi zabolevaemosti pedagogov [Analysis of occupational morbidity among teachers]. *Vestnik Donetskogo pedagogicheskogo instituta*, 2018, no. 2, pp. 134–140 (in Russian).
14. Pestereva D.V. Professional risk factors for health of teachers. *Akademicheskii zhurnal Zapadnoi Sibiri*, 2020, vol. 16, no. 1 (84), pp. 18–20 (in Russian).
15. Vvedenskiy A.I. Medical and social factors in the study of morbidity of employees of the educational public sector. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdравookhraneniya i istorii meditsiny*, 2019, no. 27 (5), pp. 847–852. DOI: 10.32687/0869-866X-2019-27-5-847-852 (in Russian).
16. Zhukov O.F., Rossoshanskaya N.S. Professional health of the teacher. *Uchenye zapiski instituta im. P.F. Lesgafta*, 2011, no. 3 (73), pp. 75–78 (in Russian).
17. Il'kaeva E.N., Takaev R.M., Stepanov E.G., Fasikov R.M., Stepanova G.S. Sostoyanie zdorov'ya uchitelei po rezul'tatam samootsenki i dopolnitel'noi dispanserizatsii [The health status of teachers based on the results of self-assessment and additional medical examination]. *ZNiSO*, 2009, no. 1 (190), pp. 25–28 (in Russian).
18. Shulaev A.V., Stepanov R.M., Shaykhutdinova K.A., Garipova R.V., Kuzmina S.V., Sabitova M.M. An assessment of the health status of employees of educational institutions in the city of Kazan. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2022, no. 3–1 (117), pp. 139–143. DOI: 10.23670/IRJ.2022.117.3.025 (in Russian).
19. Antonova A.A., Yamanova G.A., Pavelyeva E.A., Abdurakhimova P.M. An analysis of health in teachers of general education institutions. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2021, no. 12–2 (114), pp. 143–145. DOI: 10.23670/IRJ.2021.114.12.060 (in Russian).
20. Akhmetova N.S., Tebenova K.S., Tuganbekova K.M., Rakhmetova A.M. The peculiarities of immunogram of people living in environmental deprived area. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2013, no. 2, pp. 9–12 (in Russian).

21. Abdrakhmanova E.R., Vlasova N.V., Masyagutova L.M., Gizatullina L.G., Rafikova L.A. Chudnovets G.M. Comprehensive analysis of the laboratory examination results of patients with an established bronchial asthma diagnosis. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Meditsina*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 209–218. DOI: 10.22363/2313-0245-2021-25-3-209-218 (in Russian).
22. Anderson N.J., Fan Z.J., Reeb-Whitaker C., Bonauto D.K., Rauser E. Distribution of asthma by occupation: Washington State behavioral risk factor surveillance system data, 2006–2009. *J. Asthma*, 2014, vol. 51, no. 10, pp. 1035–1042. DOI: 10.3109/02770903.2014.939282
23. Afanasiev N.E., Pozdnyakova O.Yu. Pharmacotherapy of exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease in rural hospitals of the Stavropol territory. *Prakticheskaya meditsina*, 2022, vol. 20, no. 7, pp. 96–99. DOI: 10.32000/2072-1757-2022-7-96-99 (in Russian).
24. Lugovskaya S.A., Morozova V.T., Pochtar' M.E., Dolgov V.V. Laboratornaya gematologiya [Laboratory hematology]. Moscow, YUNIMED-press Publ., 2002, 120 p. (in Russian).
25. Timasheva G.V., Valeeva O.V., Badamshina G.G., Fagamova A.Z. Integral'nye gematologicheskie pokazateli i ikh ispol'zovanie v diagnostike toksicheskogo vliyaniya khimicheskikh faktorov na organizm rabotnikov sovremennogo khimicheskogo proizvodstva [Integral hematological indicators and their use in diagnosing the toxic effects of chemical factors on workers in modern chemical production]. *Aktual'nye problemy profilakticheskoi meditsiny, sredi obitaniya i zdorov'ya naseleniya: Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh i spetsialistov nauchno-issledovatel'skikh organizatsii Rospotrebnadzora*, Ufa, 2013, pp. 207–212 (in Russian).
26. Vangelova K., Dimitrova I., Tzenova B. Work ability of aging teachers in Bulgaria. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, 2018, vol. 31, no. 5, pp. 593–602. DOI: 10.13075/ijomch.1896.01132
27. Solis-Soto M.T., Schön A., Parra M., Radon K. Associations between effort-reward imbalance and health indicators among school teachers in Chuquisaca, Bolivia: a cross-sectional study. *BMJ Open*, 2019, vol. 9, no. 3, pp. e025121. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-025121

Vlasova N.V., Masyagutova L.M., Stepanov E.G., Rafikova L.A., Sadrtidinova G.R., Gizatullina L.G. Risk factors and integrated assessment of health disorders in teachers of rural comprehensive schools. *Health Risk Analysis*, 2024, no. 2, pp. 99–110. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.09.eng

Получена: 04.03.2024

Одобрена: 27.05.2024

Принята к публикации: 20.06.2024

УДК 613.644: 575.174.015.3  
DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.10

Читать  
онлайн



Научная статья

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКА РАЗВИТИЯ ВИБРАЦИОННОЙ БОЛЕЗНИ И ВЕГЕТАТИВНО-СЕНСОРНОЙ ПОЛИНЕЙРОПАТИИ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗА ПОЛИМОРФИЗМА КАНДИДАТНЫХ ГЕНОВ

Г.Ф. Мухаммадиева<sup>1</sup>, Э.Р. Шайхлисламова<sup>1,2</sup>, Д.Д. Каримов<sup>1</sup>,  
Д.О. Каримов<sup>1</sup>, Э.Ф. Репина<sup>1</sup>, Т.Г. Якупова<sup>1</sup>, Э.Р. Кудояров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека, Российская Федерация, 450106, г. Уфа, ул. Степана Кувыкина, 94

<sup>2</sup>Башкирский государственный медицинский университет, Российская Федерация, 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3

*Изучена ассоциация полиморфизмов генов IL-6 (rs1800795), TNF-α (rs361525), IL-1β (rs16944), MMP-1 (rs1799750) и SOD2 (rs4880) с риском развития вибрационной болезни (ВБ) и вегетативно-сенсорной полинейропатии (ВСПН).*

*Обследованы 45 пациентов с ВБ, 10 – с ВСПН и 76 человек, не подвергавшихся в профессиональной деятельности воздействию вибрации. Определение полиморфных вариантов генов проводили с помощью полимеразной цепной реакции в режиме реального времени.*

*Для полиморфного варианта rs16944 гена IL-1β установлена повышенная частота носительства как аллеля G (p = 0,027), так и гомозиготного генотипа G/G (p = 0,015) в группе больных ВБ относительно данных контрольной группы. У пациентов с ВСПН в сравнении с контролем чаще встречался аллель A полиморфного варианта rs361525 гена TNF-α (p = 0,047). Статистически значимые различия по полиморфным вариантам rs1800795 гена IL-6, rs1799750 гена MMP-1 и rs4880 гена SOD2 в обеих группах пациентов, по сравнению с данными контрольной группы, не обнаружены. Однако при сравнении групп больных между собой было выявлено, что аллель G полиморфного варианта rs1800795 гена IL-6 чаще регистрировался у пациентов с ВСПН (p = 0,032).*

*Результаты проведенного обследования пациентов с ВБ и ВСПН позволили установить, что полиморфный вариант rs361525 гена TNF-α ассоциирован с повышенным риском развития ВСПН, при этом носители гомозиготного генотипа G/G полиморфного варианта rs16944 гена IL-1β имеют высокий прогностический риск развития ВБ. Полиморфные варианты генов IL-1β и TNF-α могут рассматриваться в качестве вероятных молекулярно-генетических предикторов ВБ и ВСПН.*

**Ключевые слова:** вибрационная болезнь, вегетативно-сенсорная полинейропатия, полиморфизм генов, IL-6, TNF-α, IL-1β, MMP-1, SOD2, риск.

© Мухаммадиева Г.Ф., Шайхлисламова Э.Р., Каримов Д.Д., Каримов Д.О., Репина Э.Ф., Якупова Т.Г., Кудояров Э.Р., 2024

**Мухаммадиева Гузель Фанисовна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных (e-mail: ufnimt@mail.ru; тел.: 8 (347) 255-19-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7456-4787>).

**Шайхлисламова Эльмира Радиковна** – кандидат медицинских наук, директор; доцент кафедры терапии и профессиональных болезней с курсом ИДПО (e-mail: fbun@uniimtech.ru; тел.: 8 (347) 255-19-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6127-7703>).

**Каримов Денис Дмитриевич** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных (e-mail: lich-tsar@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1962-2323>).

**Каримов Денис Олегович** – кандидат медицинских наук, заведующий отделом токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных (e-mail: karimovdo@gmail.com; тел.: 8 (347) 255-19-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0039-6757>).

**Репина Эльвира Фаридовна** – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных (e-mail: e.f.repina@bk.ru; тел.: 8 (347) 255-19-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8798-0846>).

**Якупова Татьяна Георгиевна** – младший научный сотрудник отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных (e-mail: tanyu.kutlina.92@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1236-8246>).

**Кудояров Эльдар Ренатович** – младший научный сотрудник отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных (e-mail: ekudoyarov@gmail.com; тел.: 8 (347) 255-19-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2092-1021>).

Длительное вибрационное воздействие, присутствующее в различных отраслях промышленности, является фактором риска развития профессиональных заболеваний. Помимо вибрационной болезни (ВБ), производственная вибрация вызывает в организме сложный комплекс изменений, характерных для патологии нервной и сердечно-сосудистой систем, а также органов опорно-двигательного аппарата и желудочно-кишечного тракта. Существенную долю среди них занимают полинейропатии профессионального генеза, развитие которых может быть обусловлено воздействием как локальной, так и общей вибрации. Профессиональная полинейропатия от воздействия локальной вибрации часто сопровождается периферическим ангиодистоническим синдромом. При этом вегетативно-сенсорной полинейропатии (ВСПН) конечностей от воздействия общей вибрации обычно сопутствует церебрально-периферический ангиодистонический синдром [1–3].

Известно, что в адаптации и ответе на воздействие производственных факторов играет важную роль наследственность. Вариабельность в индивидуальной чувствительности работников к производственным факторам можно объяснить с помощью генетической изменчивости. Генетические полиморфизмы могут рассматриваться в качестве предикторов риска развития многих заболеваний. Определение индивидуальных рисков развития болезней на молекулярном уровне способствует более точной диагностике, а также эффективному подбору профилактических и терапевтических мер. Бурное развитие генетических исследований в последние годы позволило улучшить понимание роли генетических факторов в развитии профессиональных заболеваний [4–6]. Однако молекулярно-генетические аспекты многих профессиональных патологий до сих пор остаются малоизученными.

**Цель исследования** – изучить ассоциации полиморфизмов генов *IL-6* (rs1800795), *TNF-α* (rs361525), *IL-1β* (rs16944), *MMP-1* (rs1799750) и *SOD2* (rs4880) с риском развития ВБ и ВСПН.

**Материалы и методы.** На базе неврологического-профпатологического отделения Федерального бюджетного учреждения науки «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека» обследовано 45 пациентов с ВБ и 10 – с ВСПН, этиологическим фактором развития которых явилось воздействие вибрации. Группу контроля составили 76 человек, не подвергавшихся в профессиональной деятельности воздействию вибрации. Все обследованные являлись жителями Республики Башкортостан. После получения письменного информированного согласия на участие в исследовании выполнялся забор венозной крови в вакутейнеры с К<sub>3</sub>ЭДТА.

Экстракцию ДНК из образцов крови выполняли с применением набора «Магно-сорб» производства ФБУН ЦНИИ эпидемиологии Роспотреб-

надзора. Анализ полиморфных вариантов осуществляли с помощью полимеразной цепной реакции в режиме реального времени на приборе Rotor-Gene Q (Qiagen, Германия). При этом использовали специфические олигонуклеотидные праймеры и локус-специфичные меченые олигонуклеотидные ДНК-зонды.

Обработку данных проводили с помощью пакетов программ IBM SPSS Statistica v.21 и Microsoft Excel. Для описания соотношения частот генотипов и аллелей исследуемых генов использовали метод  $\chi^2$  или точный тест Фишера. Оценку влияния полиморфных вариантов на риск развития заболевания проводили с помощью величины отношения шансов (*OR*) с учетом 95%-ного доверительного интервала (95 % *CI*). Значение *OR* меньше единицы рассматривали как отрицательную ассоциацию заболевания с исследуемым генотипом или аллелем (фактор пониженного риска), при этом *OR* больше единицы – как положительную ассоциацию (фактор повышенного риска). При проверке нулевой гипотезы критический уровень статистической значимости принимался равным 0,05.

**Результаты и их обсуждение.** Частоты генотипов и аллелей полиморфного варианта rs1800795 гена *IL-6* для больных ВБ и ВСПН представлены в табл. 1 и 2. При сравнении данных обеих групп пациентов с таковыми контрольной статистически значимых различий не обнаружено. Вместе с тем у больных ВБ наблюдалось повышение частоты генотипа С/С больше чем в 2 раза, которое не достигло уровня статистической значимости ( $\chi^2 = 3,82$ ;  $p = 0,051$ ).

Также не было выявлено статистически значимых различий между больными ВБ и контрольной группой ни по частотам генотипов, ни по частотам аллелей полиморфного варианта rs361525 гена *TNF-α* ( $p > 0,05$ ) (табл. 3).

Как видно из данных табл. 4, у пациентов с ВСПН преобладает число носителей аллеля А полиморфного варианта rs361525 гена *TNF-α* (25,0 %), по сравнению с контролем (8,0 %;  $\chi^2 = 3,94$ ;  $p = 0,047$ ). Величина *OR* для аллеля А составила 3,83 (95 % *CI*: 1,19–12,37), что, вероятно, свидетельствует о его рисковом влиянии в отношении предрасположенности к развитию ВСПН.

Аналогичные результаты получены и для аллеля G полиморфного варианта rs16944 гена *IL-1β* для группы с ВБ (табл. 5). Так, показано статистически значимое повышение частоты аллеля G у пациентов с ВБ (54,9 %) относительно аналогичных данных контрольной группы (38,4 %;  $\chi^2 = 5,16$ ;  $p = 0,027$ ; *OR* = 1,96; 95 % *CI*: 1,13–3,38). При этом сравнение частот генотипов обнаружило, что в группе больных ВБ генотип G/G встречался статистически значимо чаще ( $\chi^2 = 6,06$ ;  $p = 0,015$ ). Носительство гомозиготного генотипа G/G полиморфного варианта rs16944 гена *IL-1β* увеличивает риск развития ВБ более чем в 3 раза (*OR* = 3,25; 95 % *CI*: 1,35–7,86).

Таблица 1

Распределение частот генотипов и аллелей полиморфного варианта rs1800795 гена *IL-6* у больных ВБ и в группе контроля

Генотипы и аллели	ВБ		Контрольная группа		$\chi^2$	<i>p</i>
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
C/C	12	28,6	9	12,2	3,82	0,051
C/G	13	30,9	29	39,2	0,47	0,493
G/G	17	40,5	36	48,6	0,43	0,513
C	37	44,1	47	31,8	2,99	0,084
G	47	55,9	101	68,2	2,99	0,084

Примечание: *n* – количество,  $\chi^2$  – критерий хи-квадрат, *p* – уровень значимости.

Таблица 2

Распределение частот генотипов и аллелей полиморфного варианта rs1800795 гена *IL-6* у больных ВСПН и в группе контроля

Генотипы и аллели	ВСПН		Контрольная группа		$\chi^2$	<i>p</i>
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
C/C	0	0,0	9	12,2	0,39	0,534
C/G	3	30,0	29	39,2	0,05	0,831
G/G	7	70,0	36	48,6	0,87	0,353
C	3	15,0	47	31,8	1,63	0,202
G	17	85,0	101	68,2	1,63	0,202

Примечание: *n* – количество,  $\chi^2$  – критерий хи-квадрат, *p* – уровень значимости.

Таблица 3

Распределение частот генотипов и аллелей полиморфного варианта rs361525 гена *TNF- $\alpha$*  у больных ВБ и в группе контроля

Генотипы и аллели	ВБ		Контрольная группа		$\chi^2$	<i>p</i>
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
GG	39	86,7	63	84,0	0,02	0,896
GA	5	11,1	12	16,0	0,22	0,636
AA	1	2,2	0	0,0	0,07	0,796
G	83	92,2	138	92,0	0,03	0,854
A	7	7,8	12	8,0	0,03	0,854

Примечание: *n* – количество,  $\chi^2$  – критерий хи-квадрат, *p* – уровень значимости.

Таблица 4

Распределение частот генотипов и аллелей полиморфного варианта rs361525 гена *TNF- $\alpha$*  у больных ВСПН и в группе контроля

Генотипы и аллели	ВСПН		Контрольная группа		$\chi^2$	<i>p</i>
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
GG	6	60,0	63	84,0	1,94	0,164
GA	3	30,0	12	16,0	0,42	0,516
AA	1	10,0	0	0,0	1,43	0,233
G	15	75,0	138	92,0	3,94	0,047
A	5	25,0	12	8,0	3,94	0,047

Примечание: *n* – количество,  $\chi^2$  – критерий хи-квадрат, *p* – уровень значимости.

Таблица 5

Распределение частот генотипов и аллелей полиморфного варианта rs16944 гена *IL-1 $\beta$*  у больных ВБ и в группе контроля

Генотипы и аллели	ВБ		Контрольная группа		$\chi^2$	<i>p</i>
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
A/A	12	29,3	29	39,7	0,83	0,362
A/G	13	31,7	32	43,8	1,15	0,285
G/G	16	39,0	12	16,5	6,06	0,015
A	37	45,1	90	61,6	5,16	0,024
G	45	54,9	56	38,4	5,16	0,024

Примечание: *n* – количество,  $\chi^2$  – критерий хи-квадрат, *p* – уровень значимости.



При оценке распределения частот генотипов и аллелей полиморфного варианта rs16944 гена *IL-1 $\beta$*  среди больных ВСПН и в группе контроля статистически значимых различий выявлено не было ( $p > 0,05$ ) (табл. 6).

В табл. 7 и 8 представлены частоты генотипов и аллелей полиморфного варианта rs1799750 гена *MMP-1* в группах больных ВБ, ВСПН и среди лиц контрольной группы. Установлено отсутствие статистически значимых различий в распределении

частот аллелей и генотипов данного полиморфного варианта в исследуемых группах ( $p > 0,05$ ).

При анализе ассоциации аллелей и генотипов полиморфного варианта rs4880 гена *SOD2* с риском развития ВБ и ВСПН также не было выявлено статистически значимых различий между выборками ( $p > 0,05$ ) (табл. 9, 10).

При сравнении частот встречаемости аллелей и генотипов по полиморфным вариантам rs361525 гена *TNF- $\alpha$* , rs16944 гена *IL-1 $\beta$* , rs1799750 гена

Таблица 6

Распределение частот генотипов и аллелей полиморфного варианта rs16944 гена *IL-1 $\beta$*  у больных ВСПН и в группе контроля

Генотипы и аллели	ВСПН		Контрольная группа		$\chi^2$	$p$
	$n$	%	$n$	%		
A/A	3	30,0	29	39,7	0,06	0,806
A/G	4	40,0	32	43,8	0,01	0,913
G/G	3	30,0	12	16,5	0,37	0,544
A	10	50,0	90	61,6	0,57	0,451
G	10	50,0	56	38,4	0,57	0,451

Примечание:  $n$  – количество,  $\chi^2$  – критерий хи-квадрат,  $p$  – уровень значимости.

Таблица 7

Распределение частот генотипов и аллелей полиморфного варианта rs1799750 гена *MMP-1* у больных ВБ и в группе контроля

Генотипы и аллели	ВБ		Контрольная группа		$\chi^2$	$p$
	$n$	%	$n$	%		
1G/1G	16	41,03	27	35,5	0,14	0,709
1G/2G	14	35,90	34	44,8	0,50	0,478
2G/2G	9	23,08	15	19,7	0,03	0,862
1G	46	58,97	88	57,9	0,00	0,988
2G	32	41,03	64	42,1	0,00	0,988

Примечание:  $n$  – количество,  $\chi^2$  – критерий хи-квадрат,  $p$  – уровень значимости.

Таблица 8

Распределение частот генотипов и аллелей полиморфного варианта rs1799750 гена *MMP-1* у больных ВСПН и в группе контроля

Генотипы и аллели	ВСПН		Контрольная группа		$\chi^2$	$p$
	$n$	%	$n$	%		
1G/1G	2	25,0	27	35,5	0,04	0,839
1G/2G	4	50,0	34	44,8	0,01	0,930
2G/2G	2	25,0	15	19,7	0,01	0,913
1G	8	50,0	88	57,9	0,12	0,733
2G	8	50,0	64	42,1	0,12	0,733

Примечание:  $n$  – количество,  $\chi^2$  – критерий хи-квадрат,  $p$  – уровень значимости.

Таблица 9

Распределение частот генотипов и аллелей полиморфного варианта rs4880 гена *SOD2* у больных ВБ и в группе контроля

Генотипы и аллели	ВБ		Контрольная группа		$\chi^2$	$p$
	$n$	%	$n$	%		
T/T	20	46,5	22	29,7	2,64	0,104
T/C	17	39,5	34	40,0	0,23	0,631
C/C	6	14,0	18	24,3	1,21	0,271
T	57	66,3	78	52,7	3,57	0,059
C	29	33,7	70	47,3	3,57	0,059

Примечание:  $n$  – количество,  $\chi^2$  – критерий хи-квадрат,  $p$  – уровень значимости.

Таблица 10

 Распределение частот генотипов и аллелей полиморфного варианта rs4880 гена *SOD2* у больных ВСПН и в группе контроля

Генотипы и аллели	ВСПН		Контрольная группа		$\chi^2$	<i>p</i>
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
T/T	3	30,0	22	29,7	0,12	0,726
T/C	6	60,0	34	46,0	0,25	0,619
C/C	1	10,0	18	24,3	0,38	0,540
T	12	60,0	78	52,7	0,14	0,708
C	8	40,00 %	70	47,3	0,14	0,708

 П р и м е ч а н и е: *n* – количество,  $\chi^2$  – критерий хи-квадрат, *p* – уровень значимости.

Таблица 11

Распределение частот генотипов и аллелей полиморфизмов исследуемых генов у больных ВБ и ВСПН

Полиморфизм	Генотипы, аллели	ВБ		ВСПН		$\chi^2$	<i>p</i>
		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
rs1800795 (ген <i>IL-6</i> )	C/C	12	28,6	0	0,0	2,28	0,131
	C/G	13	30,9	3	30,0	0,10	0,747
	G/G	17	40,5	7	70,0	1,77	0,184
	C	37	44,1	3	15,0	4,60	0,032
	G	47	55,9	17	85,0	4,60	0,032
rs361525 (ген <i>TNF-<math>\alpha</math></i> )	G/G	39	86,7	6	60,0	2,32	0,128
	G/A	5	11,1	3	30,0	1,07	0,301
	A/A	1	2,2	1	10,0	0,06	0,800
	G	83	92,2	15	75,0	3,38	0,066
	A	7	7,8	5	25,0	3,38	0,066
rs16944 (ген <i>IL-1<math>\beta</math></i> )	A/A	12	29,3	3	30,0	0,12	0,733
	A/G	13	31,7	4	40,0	0,02	0,902
	G/G	16	39,0	3	30,0	0,03	0,870
	A	37	45,1	10	50,0	0,02	0,888
	G	45	54,9	10	50,0	0,02	0,888
rs1799750 (ген <i>MMP-1</i> )	1G/1G	16	41,0	2	25,0	0,20	0,653
	1G/2G	14	35,9	4	50,0	0,12	0,728
	2G/2G	9	23,1	2	25,0	0,12	0,733
	1G	46	59,0	8	50,0	0,15	0,701
	2G	32	41,0	8	50,0	0,15	0,701
rs4880 (ген <i>SOD2</i> )	T/T	20	46,5	3	30,0	0,35	0,552
	T/C	17	39,5	6	60,0	0,68	0,412
	C/C	6	14,0	1	10,0	0,03	0,853
	T	57	66,3	12	60,0	0,07	0,787
	C	29	33,7	8	40,0	0,07	0,787

 П р и м е ч а н и е: *n* – количество,  $\chi^2$  – критерий хи-квадрат, *p* – уровень значимости.

*MMP-1* и rs4880 гена *SOD2* обнаружено отсутствие статистически значимых различий между группами пациентов с ВБ и ВСПН ( $p > 0,05$ ) (табл. 11). Статистически значимое увеличение частоты аллеля G полиморфного варианта rs1800795 гена *IL-6* было отмечено в группе с заболеванием ВСПН (85,0 %) по сравнению с группой ВБ (55,9 %;  $\chi^2 = 4,60$ ,  $p = 0,032$ ;  $OR = 4,46$ ; 95 % *CI*: 1,22–16,38). Можно предположить, что носительство аллеля G изучаемого полиморфизма повышает риск развития ВСПН.

Обсуждая распределение генотипов изучаемых полиморфных вариантов, необходимо отметить, что в доступной литературе мы не нашли сведений о подобных исследованиях у больных ВБ и ВСПН. Однако мы сравнили полученные результаты с ра-

ботами других авторов, посвященными заболеваниями, которые могут оказывать влияние на проявления ВБ и ВСПН.

Интерлейкин-6 (IL-6) – многофункциональный цитокин, который может выступать в качестве медиатора воспаления и регулятора эндокринных и метаболических функций, участвует в регенерации тканей и запускает различные врожденные и адаптивные иммунологические реакции [7]. В промоторной области гена *IL-6* в -174 положении расположен функциональный полиморфизм rs1800795, аллель G которого связан с более высокой продукцией этого цитокина. Было продемонстрировано, что данный полиморфный вариант влияет на транскрипцию и секрецию *IL-6*, и эти изменения считаются важными факторами риска заболеваний чело-

века [8, 9]. Метаанализ предоставил убедительные доказательства связи между полиморфизмом rs1800795 гена *IL-6* и риском множественных заболеваний. Так, ген *IL-6* может быть полезным прогностическим биомаркером при ишемической болезни сердца, воспалительных заболеваниях, ишемическом инсульте и ревматоидном артрите [10]. Исследования также показали, что полиморфизм rs1800795 гена *IL-6* ассоциирован с предрасположенностью к хронической воспалительной демиелинизирующей полинейропатии [11], что согласуется с полученными нами данными.

Ген фактора некроза опухоли альфа (*TNF-α*) расположен в главном комплексе гистосовместимости и кодирует белок *TNF-α*, который является важным воспалительным и иммуномодулирующим цитокином. Исследования показали, что уровни *TNF-α* повышены в синовиальной жидкости, синовиальной мембране, субхондральной кости и хряще [12]. К одному из наиболее изученных полиморфных вариантов гена *TNF-α* относится rs361525, который участвует в регуляции продукции цитокинов. Данный полиморфизм может влиять на транскрипцию гена *TNF-α*, а повышенный уровень *TNF-α* может способствовать росту риска развития многих заболеваний [13]. Сообщалось, что уровень *TNF-α* в сыворотке коррелирует с впервые возникшим сердечно-сосудистым заболеванием, а также является маркером повторных коронарных событий после перенесенного инфаркта миокарда [14, 15]. У представителей китайской популяции Хань минорный аллель А полиморфного варианта rs361525 защищает от развития анкилозирующего спондилита [16]. В другой работе обнаружена связь данного полиморфизма с риском развития псориатического артрита [17]. По результатам наших исследований, носительство аллеля А полиморфного варианта rs361525 гена *TNF-α* значимо в плане генетической предрасположенности к ВСПН.

Известно, что цитокины семейства интерлейкина-1 (*IL-1*) участвуют в воспалении и иммунной регуляции и играют важную роль во врожденном и адаптивном иммунитете. Недавние исследования показали, что *IL-1* может напрямую влиять на костный гомеостаз, а нарушение регуляции *IL-1* связано с заболеваниями костей [18]. Цитокин *IL-1β*, кодируемый геном *IL-1β*, в основном секретируется стимулированными макрофагами и моноцитами и в меньшей степени некоторыми другими типами клеток, включая нейтрофилы, лимфоциты, эндотелиальные клетки и фибробласты. Помимо иммунных клеток, клетки межпозвоночного диска сами могут секретировать *IL-1β*. Показано, что один из наиболее распространенных полиморфизмов гена *IL-1β* (rs16944) ассоциирован с заболеваниями поясничных дисков [19]. При этом данный полиморфизм может способствовать повышенной восприимчивости к хроническому остеомиелиту конечностей в китайской популяции Хань [20]. Проведенный ме-

таанализ продемонстрировал связь полиморфного варианта rs16944 гена *IL-1β* с увеличенным риском развития ревматоидного артрита у представителей европеоидной расы [21]. Полученные нами результаты об ассоциации полиморфного варианта rs16944 гена *IL-1β* с ВБ в целом не противоречат опубликованным данным.

Металлопротеиназа-1 (MMP-1) является наиболее широко экспрессируемым протеолитическим ферментом семейства матриксных металлопротеиназ, играет ключевую роль в деградации и разрушении суставного хряща и кости. MMP-1 экспрессируется в различных клетках, таких как хондроциты, фибробласты, эпителиальные и эндотелиальные клетки, а также опухолевые клетки. При патологических состояниях уровень MMP-1 значительно возрастает, вызывая разрушение соединительной ткани [22]. Сверхэкспрессия MMP-1 в хондроцитах усиливает деградацию хрящевого коллагена и протеогликана, что приводит к патологическому повреждению хряща при остеоартрите [23]. В промоторной области гена *MMP-1* обнаружен однонуклеотидный полиморфизм rs1799750, который может приводить к повышенной транскрипционной активности гена [24]. В литературе есть данные о наличии связи данного полиморфизма с развитием остеоартрита [25, 26], системного склероза [27], ишемической болезни сердца [28], с усилением болей в пояснице, ишиасом и инвалидностью при грыже диска поясничного отдела [29]. Тем не менее мы не выявили ассоциаций данного полиморфного варианта с ВБ и ВСПН.

Супероксиддисмутаза-2 (*SOD2*) представляет собой тетрамерный фермент, содержащий марганец в своем активном центре. Он является основной системой антиоксидантной защиты организма, активируемой активными формами кислорода, распределяется в митохондриях, пероксисомах и цитоплазме [30]. Ген *SOD2* имеет сайты связывания для различных факторов транскрипции, которые действуют как лиганды для активации транскрипции и участвуют в системе защиты клеток от агентов, вызывающих окислительный стресс [31]. Экспрессию гена *SOD2* индуцируют различные цитокины, факторы роста, активные формы кислорода, липополисахариды и тяжелые металлы. В последнее время появляется все больше данных о том, что окислительный стресс играет решающую роль в развитии остеоартрита, а высокие уровни активных форм кислорода могут привести к усилению перекисного окисления липидов, повреждению мтДНК и активации сигнальных путей [32]. Все эти изменения могут способствовать деградации хряща и вызывать расщепление коллагена и гиалуронана [33]. Несколько однонуклеотидных полиморфизмов были идентифицированы в гене *SOD2*, включая функциональный полиморфизм rs4880. Исследования показали, что полиморфный вариант rs4880 гена *SOD2* связан с повышенным риском развития кардиомио-

патии, инсульта и ишемической болезни сердца [34–36]. Однако аналогичных результатов при анализе распределения частот аллелей и генотипов данного полиморфизма у пациентов с ВБ и ВСПН мы не получили.

**Выводы.** Результаты проведенного обследования пациентов с ВБ и ВСПН позволили установить, что полиморфный вариант rs361525 гена *TNF-α* ассоциирован с повышенным риском развития ВСПН, при этом носители гомозиготного генотипа G/G полиморфного варианта rs16944 гена *IL-1β* имеют высокий прогностический риск развития ВБ. Полиморфные варианты генов *IL-1β* и *TNF-α* могут рассматриваться в качестве вероятных молекулярно-генетических предикторов ВБ и ВСПН, однако небольшой размер выборок больных определяет необходимость дополнительных исследований. По-

лученные результаты исследования могут быть положены в основу разработки скрининговых программ по выявлению лиц с повышенным риском развития ВБ и ВСПН. Сведения об ассоциации полиморфных вариантов генов с заболеваниями могут быть учтены при проведении профилактических мероприятий.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках отраслевой научно-исследовательской программы Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека на 2021–2025 гг. «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровью и повышения качества жизни населения России» п. 2.2.9.

**Конфликт интересов.** Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Профессиональные заболевания от воздействия физических факторов в Республике Башкортостан / Э.Р. Шайхлисламова, Э.Т. Валеева, А.Д. Волгарева, Н.С. Кондрова, Р.Р. Галимова, Л.М. Масыгутова // Медицина труда и экология человека. – 2018. – № 4 (16). – С. 63–69.
2. Профессиональные полинейропатии: дифференциальный диагноз, экспертиза профессиональной пригодности, медицинская реабилитация и методы физиотерапевтического воздействия / С.А. Бабанов, Р.А. Бараева, Д.С. Будаш, Д.Г. Богуславский // Физиотерапевт. – 2018. – № 4. – С. 37–49.
3. Бабанов С.А. Синдром полинейропатии при вибрационной болезни от воздействия общей вибрации: оценка и прогнозирование (место электромиографии) // Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях. – 2020. – № 10. – С. 63–71. DOI: 10.33920/pro-4-2010-08
4. Жукова А.Г., Горохова Л.Г. Ретроспектива молекулярно-генетических исследований производственно обусловленной патологии // Медицина в Кузбассе. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 5–11. DOI: 10.24412/2687-0053-2021-3-5-11
5. Баранов В.С. Геномика и предиктивная медицина // Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины. – 2021. – Т. 36, № 4. – С. 14–28. DOI: 10.29001/2073-8552-2021-36-4-14-28
6. Исследование генов глутатион-S-трансфераз (GST) T1 и M1 у работников алюминиевой промышленности с коморбидной кардиоваскулярной патологией / Т.К. Ядыкина, О.Ю. Коротенко, Е.А. Семенова, М.С. Бугаева, А.Г. Жукова // Медицина труда и промышленная экология. – 2023. – Т. 63, № 8. – С. 519–527. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-8-519-527
7. Tanaka T., Narazaki M., Kishimoto T. IL-6 in inflammation, immunity, and disease // Cold Spring Harb. Perspect. Biol. – 2014. – Vol. 6, № 10. – P. a016295. DOI: 10.1101/cshperspect.a016295
8. Gene polymorphisms and expression levels of interleukin-6 and interleukin-10 in lumbar disc disease: a meta-analysis and immunohistochemical study / Y. Guan, S. Wang, J. Wang, D. Meng, H. Wu, Q. Wei, H. Jiang // J. Orthop. Surg. Res. – 2020. – Vol. 15, № 1. – P. 54. DOI: 10.1186/s13018-020-01588-8
9. Interleukin-6 signalling as a valuable cornerstone for molecular medicine (Review) / M. Trovato, S. Sciacchitano, A. Facciolà, A. Valenti, G. Visalli, A. Di Pietro // Int. J. Mol. Med. – 2021. – Vol. 47, № 6. – P. 107. DOI: 10.3892/ijmm.2021.4940
10. Harun-Or-Roshid, Mollah N.H., Jesmin. A comprehensive meta-analysis comprising 149 case-control studies to investigate the association between IL-6 gene rs1800795 polymorphism and multiple disease risk // Gene. – 2023. – Vol. 861. – P. 147234. DOI: 10.1016/j.gene.2023.147234
11. Cytokine Gene Polymorphisms in Patients with Chronic Inflammatory Demyelinating Polyneuropathy / I. Bozovic, V. Perovic, I. Basta, S. Peric, Z. Stevic, D. Popadic, I. Vukovic, A. Stojanov, E. Milosevic // Cells. – 2023. – Vol. 12, № 16. – P. 2033. DOI: 10.3390/cells12162033
12. Bayley J.-P., Ottenhoff T.H.M., Verweij C.L. Is there a future for TNF promoter polymorphisms? // Genes Immun. – 2004. – Vol. 5, № 5. – P. 315–329. DOI: 10.1038/sj.gene.6364055
13. Functional study of TNF-α promoter polymorphisms: literature review and meta-analysis / A. Mekinian, R. Tamouza, S. Pavy, N. Gestermann, M. Ittah, X. Mariette, C. Miceli-Richard // Eur. Cytokine Netw. – 2011. – Vol. 22, № 2. – P. 88–102. DOI: 10.1684/ecn.2011.0285
14. Genetic polymorphisms in cytokine and adhesion molecule genes in coronary artery disease / J. Auer, T. Weber, R. Berent, E. Lassnig, G. Lamm, B. Eber // Am. J. Pharmacogenomics. – 2003. – Vol. 3, № 5. – P. 317–328. DOI: 10.2165/00129785-200303050-00003
15. Inflammatory cytokine gene variants in coronary artery disease patients in Greece / A. Manginas, A. Tsiavou, A. Chaidaroglou, G. Giamouzis, D. Degiannis, D. Panagiotakos, D.V. Cokkinos // Coron. Artery Dis. – 2008. – Vol. 19, № 8. – P. 575–582. DOI: 10.1097/MCA.0b013e32831286e8
16. The Associations of rs1799724 and rs361525 With the Risk of Ankylosing Spondylitis Are Dependent on HLA-B\*27 Status in a Chinese Han Population / N. Sheng, Y. Gao, H. Li, W. Wang, L. Geng, B. Zhang, Q. Huang, X. Wang, L. Sun [et al.] // Front. Immunol. – 2022. – Vol. 13. – P. 852326. DOI: 10.3389/fimmu.2022.852326

17. Association of TNF, IL12, and IL23 gene polymorphisms and psoriatic arthritis: meta-analysis / M.A.R. Loures, H.V. Alves, A.G. de Moraes, T. da Silva Santos, F.F. Lara, J.S.F. Neves, L.C. Macedo, J.J.V. Teixeira [et al.] // *Expert Rev. Clin. Immunol.* – 2019. – Vol. 15, № 3. – P. 303–313. DOI: 10.1080/1744666X.2019.1564039
18. Critical role for inflammasome-independent IL-1 $\beta$  production in osteomyelitis / J.R. Lukens, J.M. Gross, C. Calabrese, Y. Iwakura, M. Lamkanfi, P. Vogel, T.-D. Kanneganti // *Proc. Natl Acad. Sci. USA.* – 2014. – Vol. 111, № 3. – P. 1066–1071. DOI: 10.1073/pnas.1318688111
19. Association of single nucleotide polymorphisms of IL-1b with lumbar disc disease / W. Ye, R.-F. Ma, P.-Q. Su, D.-S. Huang, S.-L. Liu, W.-J. Chen, X.-G. Wang // *Yi Chuan.* – 2007. – Vol. 29, № 8. – P. 923–928. DOI: 10.1360/yc-007-0923
20. Interleukin-1 Beta Gene Polymorphism rs16944 May Associate with Increased Susceptibility to Extremity Chronic Osteomyelitis in Chinese Han Population / Z.-L. Yao, Q.-R. Lin, Y.-J. Hu, Y.-L. Hou, Y.-F. Ma, B. Yu, N. Jiang // *Biomed Res. Int.* – 2019. – Vol. 2019. – P. 7483537. DOI: 10.1155/2019/7483537
21. Interleukin-1 promoter region polymorphism role in rheumatoid arthritis: a meta-analysis of IL-1B-511A/G variant reveals association with rheumatoid arthritis / P. Harrison, J.J. Pointon, K. Chapman, A. Roddam, B.P. Wordsworth // *Rheumatology (Oxford).* – 2008. – Vol. 47, № 12. – P. 1768–1770. DOI: 10.1093/rheumatology/ken374
22. Vincenti M.P., Brinckerhoff C.E. Transcriptional regulation of collagenase (MMP-1, MMP-13) genes in arthritis: integration of complex signaling pathways for the recruitment of gene-specific transcription factors // *Arthritis Res.* – 2002. – Vol. 4, № 3. – P. 157–164. DOI: 10.1186/ar401
23. Subchondral cyst development and MMP-1 expression during progression of osteoarthritis: an immunohistochemical study / A. Kaspiris, L. Khaldi, T.B. Grivas, E. Vasiliadis, I. Kouvaras, S. Dagkas, E. Chronopoulos, E. Papadimitriou // *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* – 2013. – Vol. 99, № 5. – P. 523–529. DOI: 10.1016/j.otsr.2013.03.019
24. Sundar S.S., Jayesh S.R., Hussain S. Association of matrix metalloproteinase 1 gene promoter mutation and residual ridge resorption in edentulous patients of South Indian origin // *J. Pharm. Bioallied Sci.* – 2015. – Vol. 7, Suppl. 2. – P. S652–S655. DOI: 10.4103/0975-7406.163591
25. Association between polymorphism of MMP-1 promoter and the susceptibility to anterior disc displacement and temporomandibular joint osteoarthritis / S. Luo, M. Deng, X. Long, J. Li, L. Xu, W. Fang // *Arch. Oral Biol.* – 2015. – Vol. 60, № 11. – P. 1675–1680. DOI: 10.1016/j.archoralbio.2015.08.001
26. The association between MMP-1 gene rs1799750 polymorphism and knee osteoarthritis risk / R. Geng, Y. Xu, W. Hu, H. Zhao // *Biosci. Rep.* – 2018. – Vol. 38, № 5. – P. BSR20181257. DOI: 10.1042/BSR20181257
27. Matrix metalloproteinase gene polymorphisms and susceptibility to systemic sclerosis / T.F. Rech, S.B.C. Moraes, M. Bredemeier, J. de Paoli, J.C.T. Brenol, R.M. Xavier, J.A.B. Chies, D. Simon // *Genet. Mol. Res.* – 2016. – Vol. 15, № 4. DOI: 10.4238/gmr15049077
28. Association of MMP-1 (rs1799750) -1607 2G/2G and MMP-3 (rs3025058) -1612 6A/6A Genotypes With Coronary Artery Disease Risk Among Iranian Turks / A. Ghaffarzadeh, M. Bagheri, K. Khadem-Vatani, I. Abdi Rad // *J. Cardiovasc. Pharmacol.* – 2019. – Vol. 74, № 5. – P. 420–425. DOI: 10.1097/FJC.0000000000000727
29. The MMP1 rs1799750 2G allele is associated with increased low back pain, sciatica, and disability after lumbar disk herniation / L.M. Jacobsen, E.I. Schistad, A. Storesund, L.M. Pedersen, A. Espeland, L.J. Rygh, C. Røe, J. Gjerstad // *Clin. J. Pain.* – 2013. – Vol. 29, № 11. – P. 967–971. DOI: 10.1097/AJP.0b013e31827df7fd
30. The role of oxidative stress on breast cancer development and therapy / F. Hecht, C.F. Pessoa, L.B. Gentile, D. Rosenthal, D.P. Carvalho, R.S. Fortunato // *Tumour Biol.* – 2016. – Vol. 37, № 4. – P. 4281–4291. DOI: 10.1007/s13277-016-4873-9
31. SOD2, a Potential Transcriptional Target Underpinning CD44-Promoted Breast Cancer Progression / N. Alateyah, I. Gupta, R.S. Rusyniak, A. Ouhtit // *Molecules.* – 2022. – Vol. 27, № 3. – P. 811. DOI: 10.3390/molecules27030811
32. Mitochondrial dysfunction in osteoarthritis is associated with down-regulation of superoxide dismutase 2 / C. Gavrilidis, S. Miwa, T. von Zglinicki, R.W. Taylor, D.A. Young // *Arthritis Rheum.* – 2013. – Vol. 65, № 2. – P. 378–387. DOI: 10.1002/art.37782
33. Detection of nitrotyrosine in aging and osteoarthritic cartilage: Correlation of oxidative damage with the presence of interleukin-1beta and with chondrocyte resistance to insulin-like growth factor 1 / R.F. Loeser, C.S. Carlson, M. Del Carlo, A. Cole // *Arthritis Rheum.* – 2002. – Vol. 46, № 9. – P. 2349–2357. DOI: 10.1002/art.10496
34. The mitochondrial superoxide dismutase A16V polymorphism in the cardiomyopathy associated with hereditary haemochromatosis / L. Valenti, D. Conte, A. Piperno, P. Dongiovanni, A.L. Fracanzani, M. Fraquelli, A. Vergani, C. Gianni [et al.] // *J. Med. Genet.* – 2004. – Vol. 41, № 12. – P. 946–950. DOI: 10.1136/jmg.2004.019588
35. MnSOD and GPx1 polymorphism relationship with coronary heart disease risk and severity / Y. Souiden, H. Mallouli, S. Meskhi, Y. Chaabouni, A. Rebai, F. Chéour, K. Mahdouani // *Biol. Res.* – 2016. – Vol. 49. – P. 22. DOI: 10.1186/s40659-016-0083-6
36. Single-Nucleotide Polymorphisms in Oxidative Stress-Related Genes and the Risk of a Stroke in a Polish Population: A Preliminary Study / E. Synowiec, P. Wigner, N. Cichon, C. Watala, P. Czarny, J. Saluk-Bijak, E. Miller, T. Sliwinski [et al.] // *Brain Sci.* – 2021. – Vol. 11, № 3. – P. 391. DOI: 10.3390/brainsci11030391

*Прогнозирование риска развития вибрационной болезни и вегетативно-сенсорной полинейропатии при вибрационном воздействии с использованием анализа полиморфизма кандидатных генов / Г.Ф. Мухаммадиева, Э.Р. Шайхлисламова, Д.Д. Каримов, Д.О. Каримов, Э.Ф. Репина, Т.Г. Якупова, Э.Р. Кудояров // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 111–121. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.10*

UDC 613.644: 575.174.015.3

DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.10.eng

Read  
online

Research article

## PREDICTING THE RISK OF DEVELOPING VIBRATION DISEASE AND VEGETATIVE-SENSORY POLYNEUROPATHY UNDER VIBRATION EXPOSURE USING ANALYSIS OF CANDIDATE GENE POLYMORPHISM

**G.F. Mukhammadiyeva<sup>1</sup>, E.R. Shaikhislamova<sup>1,2</sup>, D.D. Karimov<sup>1</sup>,  
D.O. Karimov<sup>1</sup>, E.F. Repina<sup>1</sup>, T.G. Yakupova<sup>1</sup>, E.R. Kudoyarov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, 94 Stepana Kuvykina St., Ufa, 450106, Russian Federation

<sup>2</sup>Bashkir State Medical University, 3 Lenina St., Ufa, 450008, Russian Federation

*In this study, we investigated the association of IL-6 (rs1800795), TNF- $\alpha$  (rs361525), IL-1 $\beta$  (rs16944), MMP-1 (rs1799750) and SOD2 (rs4880) gene polymorphisms with the risk of developing vibration disease (VD) and autonomic sensory polyneuropathy (ASP).*

*We examined 45 patients with VB, 10 patients with ASPN and 76 people who were not exposed to vibration in their professional activities. Polymorphic gene variants were determined using a real-time polymerase chain reaction.*

*The polymorphic variant rs16944 of the IL-1 $\beta$  gene was established to carry both the G allele ( $p = 0.027$ ) and the homozygous G/G genotype ( $p = 0.015$ ) with elevated frequency in the group of patients with VD relative to the control group. Allele A of the rs361525 polymorphic variant of the TNF- $\alpha$  gene was more common in patients with ASPN as compared to controls, ( $p = 0.047$ ). Statistically significant differences in polymorphic variants rs1800795 of the IL-6 gene, rs1799750 of the MMP-1 gene and rs4880 of the SOD2 gene were not found in both groups of patients as compared to the control group. However, when comparing groups of patients with each other, we established that the G allele of the polymorphic variant rs1800795 of the IL-6 gene was more often recorded in patients with ASPN ( $p = 0.032$ ).*

*The results obtained by examining the patients with VD and ASPN made it possible to establish that the rs361525 polymorphic variant of the TNF- $\alpha$  gene is associated with an elevated risk of developing ASPN, while carriers of the homozygous genotype G/G of the rs16944 polymorphic variant of the IL-1 $\beta$  gene have a high prognostic risk of developing VD. Polymorphic variants of the IL-1 $\beta$  and TNF- $\alpha$  genes can be considered probable molecular genetic predictors of VD and ASPN.*

**Keywords:** vibration disease, autonomic-sensory polyneuropathy, gene polymorphism, IL-6, TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , MMP-1, SOD2, risk.

© Mukhammadiyeva G.F., Shaikhislamova E.R., Karimov D.D., Karimov D.O., Repina E.F., Yakupova T.G., Kudoyarov E.R., 2024

**Guzel F. Mukhammadiyeva** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Department of Toxicology and Genetics with the Experimental Clinics for Laboratory Animals (e-mail: [ufniimt@mail.ru](mailto:ufniimt@mail.ru); tel.: +7 (347) 255-19-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7456-4787>).

**Elmira R. Shaikhislamova** – Candidate of Medical Sciences, director; Associate Professor of the Department of Therapy and Occupational Diseases with the course of Institute of Additional Professional Education (e-mail: [fbun@uniimtech.ru](mailto:fbun@uniimtech.ru); tel.: +7 (347) 255-19-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6127-7703>).

**Denis D. Karimov** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Department of Toxicology and Genetics with the Experimental Clinics for Laboratory Animals (e-mail: [lich-tsar@mail.ru](mailto:lich-tsar@mail.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1962-2323>).

**Denis O. Karimov** – Candidate of Medical Sciences, Head of the Department of Toxicology and Genetics with the Experimental Clinics for Laboratory Animals (e-mail: [karimovdo@gmail.com](mailto:karimovdo@gmail.com); tel.: +7 (347) 255-19-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0039-6757>).

**Elvira F. Repina** – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher at the Department of Toxicology and Genetics with the Experimental Clinics for Laboratory Animals (e-mail: [e.f.repina@bk.ru](mailto:e.f.repina@bk.ru); tel.: +7 (347) 255-19-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8798-0846>).

**Tatyana G. Yakupova** – Junior Researcher at the Department of Toxicology and Genetics with the Experimental Clinics for Laboratory Animals (e-mail: [tanya.kutlina.92@mail.ru](mailto:tanya.kutlina.92@mail.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1236-8246>).

**Eldar R. Kudoyarov** – Junior Researcher at the Department of Toxicology and Genetics with the Experimental Clinics for Laboratory Animals (e-mail: [ekudoyarov@gmail.com](mailto:ekudoyarov@gmail.com); tel.: +7 (347) 255-19-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2092-1021>).

## References

1. Shaikhislamova E.R., Valeeva E.T., Volgareva A.D., Kondrova N.S., Galimova R.R., Masyagutova L.M. Occupational diseases caused by physical factors in the Republic of Bashkortostan. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*, 2018, no. 4 (16), pp. 63–69 (in Russian).
2. Babanov S.A., Baraeva R.A., Budash D.S., Boguslavsky D.G. Professional polyneuropathies: differential diagnosis, expertise of professional suitability, medical rehabilitation and methods of physiotherapeutic exposure. *Fizioterapevt*, 2018, no. 4, pp. 37–49 (in Russian).
3. Babanov S.A. Polyneuropathy syndrome in vibration disease from exposure to general vibration: assessment and prediction (place of electroneuromyography). *Okhrana truda i tekhnika bezopasnosti na promyshlennykh predpriyatiyakh*, 2020, no. 10, pp. 63–71. DOI: 10.33920/pro-4-2010-08 (in Russian).
4. Zhukova A.G., Gorokhova L.G. A retrospective in molecular and genetic studies of production-related pathology. *Meditsina v Kuzbasse*, 2020, vol. 20, no. 3, pp. 5–11. DOI: 10.24412/2687-0053-2021-3-5-11 (in Russian).
5. Baranov V.S. Genomics and predictive medicine. *Sibirskii zhurnal klinicheskoi i eksperimental'noi meditsiny*, 2021, vol. 36, no. 4, pp. 14–28. DOI: 10.29001/2073-8552-2021-36-4-14-28 (in Russian).
6. Yadykina T.K., Korotenko O.Yu., Semenova E.A., Bugaeva M.S., Zhukova A.G. Study of Glutathione-S-transferase (GST) T1 and M1 genes in aluminum industry workers with comorbid cardiovascular pathology. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2023, vol. 63, no. 8, pp. 519–527. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-8-519-527 (in Russian).
7. Tanaka T., Narazaki M., Kishimoto T. IL-6 in inflammation, immunity, and disease. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.*, 2014, vol. 6, no. 10, pp. a016295. DOI: 10.1101/cshperspect.a016295
8. Guan Y., Wang J., Meng D., Wu H., Wei Q., Jiang H. Gene polymorphisms and expression levels of interleukin-6 and interleukin-10 in lumbar disc disease: a meta-analysis and immunohistochemical study. *J. Orthop. Surg. Res.*, 2020, vol. 15, no. 1, pp. 54. DOI: 10.1186/s13018-020-01588-8
9. Trovato M., Sciacchitano S., Facciola A., Valenti A., Visalli G., Di Pietro A. Interleukin-6 signalling as a valuable cornerstone for molecular medicine (Review). *Int. J. Mol. Med.*, 2021, vol. 47, no. 6, pp. 107. DOI: 10.3892/ijmm.2021.4940
10. Harun-Or-Roshid, Mollah N.H., Jesmin. A comprehensive meta-analysis comprising 149 case-control studies to investigate the association between IL-6 gene rs1800795 polymorphism and multiple disease risk. *Gene*, 2023, vol. 861, pp. 147234. DOI: 10.1016/j.gene.2023.147234
11. Bozovic I., Perovic V., Basta I., Peric S., Stevic Z., Popadic D., Vukovic I., Stojanov A., Milosevic E. Cytokine Gene Polymorphisms in Patients with Chronic Inflammatory Demyelinating Polyneuropathy. *Cells*, 2023, vol. 12, no. 16, pp. 2033. DOI: 10.3390/cells12162033
12. Bayley J.-P., Ottenhoff T.H.M., Verweij C.L. Is there a future for TNF promoter polymorphisms? *Genes Immun.*, 2004, vol. 5, no. 5, pp. 315–329. DOI: 10.1038/sj.gene.6364055
13. Mekinian A., Tamouza R., Pavy S., Gestermann N., Ittah M., Mariette X., Miceli-Richard C. Functional study of TNF- $\alpha$  promoter polymorphisms: literature review and meta-analysis. *Eur. Cytokine Netw.*, 2011, vol. 22, no. 2, pp. 88–102. DOI: 10.1684/ecn.2011.0285
14. Auer J., Weber T., Berent R., Lassnig E., Lamm G., Eber B. Genetic polymorphisms in cytokine and adhesion molecule genes in coronary artery disease. *Am. J. Pharmacogenomics*, 2003, vol. 3, no. 5, pp. 317–328. DOI: 10.2165/00129785-200303050-00003
15. Manginas A., Tsiavou A., Chaidaroglou A., Giamouzis G., Degiannis D., Panagiotakos D., Cokkinos D.V. Inflammatory cytokine gene variants in coronary artery disease patients in Greece. *Coron. Artery Dis.*, 2008, vol. 19, no. 8, pp. 575–582. DOI: 10.1097/MCA.0b013e32831286e8
16. Sheng N., Gao Y., Li H., Wang W., Geng L., Zhang B., Huang Q., Wang X., Sun L. The Associations of rs1799724 and rs361525 With the Risk of Ankylosing Spondylitis Are Dependent on HLA-B27 Status in a Chinese Han Population. *Front. Immunol.*, 2022, vol. 13, pp. 852326. DOI: 10.3389/fimmu.2022.852326
17. Loures M.A.R., Alves H.V., de Moraes A.G., da Silva Santos T., Lara F.F., Neves J.S.F., Macedo L.C., Teixeira J.J.V. [et al.]. Association of TNF, IL12, and IL23 gene polymorphisms and psoriatic arthritis: meta-analysis. *Expert Rev. Clin. Immunol.*, 2019, vol. 15, no. 3, pp. 303–313. DOI: 10.1080/1744666X.2019.1564039
18. Lukens J.R., Gross J.M., Calabrese C., Iwakura Y., Lamkanfi M., Vogel P., Kanneganti T.-D. Critical role for inflammasome-independent IL-1 $\beta$  production in osteomyelitis. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 2014, vol. 111, no. 3, pp. 1066–1071. DOI: 10.1073/pnas.1318688111
19. Ye W., Ma R.-F., Su P.-Q., Huang D.-S., Liu S.-L., Chen W.-J., Wang X.-G. [Association of single nucleotide polymorphisms of IL-1b with lumbar disc disease]. *Yi Chuan*, 2007, vol. 29, no. 8, pp. 923–928. DOI: 10.1360/yc-007-0923 (in Chinese).
20. Yao Z.-L., Lin Q.-R., Hu Y.-J., Hou Y.-L., Ma Y.-F., Yu B., Jiang N. Interleukin-1 Beta Gene Polymorphism rs16944 May Associate with Increased Susceptibility to Extremity Chronic Osteomyelitis in Chinese Han Population. *Biomed Res. Int.*, 2019, vol. 2019, pp. 7483537. DOI: 10.1155/2019/7483537
21. Harrison P., Pointon J.J., Chapman K., Roddam A., Wordsworth B.P. Interleukin-1 promoter region polymorphism role in rheumatoid arthritis: a meta-analysis of IL-1B-511A/G variant reveals association with rheumatoid arthritis. *Rheumatology (Oxford)*, 2008, vol. 47, no. 12, pp. 1768–1770. DOI: 10.1093/rheumatology/ken374
22. Vincenti M.P., Brinckerhoff C.E. Transcriptional regulation of collagenase (MMP-1, MMP-13) genes in arthritis: integration of complex signaling pathways for the recruitment of gene-specific transcription factors. *Arthritis Res.*, 2002, vol. 4, no. 3, pp. 157–164. DOI: 10.1186/ar401
23. Kaspiris A., Khaldi L., Grivas T.B., Vasiliadis E., Kouvaras I., Dagkas S., Chronopoulos E., Papadimitriou E. Subchondral cyst development and MMP-1 expression during progression of osteoarthritis: an immunohistochemical study. *Orthop. Traumatol. Surg. Res.*, 2013, vol. 99, no. 5, pp. 523–529. DOI: 10.1016/j.otsr.2013.03.019



24. Sundar S.S., Jayesh S.R., Hussain S. Association of matrix metalloproteinase 1 gene promoter mutation and residual ridge resorption in edentulous patients of South Indian origin. *J. Pharm. Bioallied Sci.*, 2015, vol. 7, suppl. 2, pp. S652–S655. DOI: 10.4103/0975-7406.163591
25. Luo S., Deng M., Long X., Li J., Xu L., Fang W. Association between polymorphism of MMP-1 promoter and the susceptibility to anterior disc displacement and temporomandibular joint osteoarthritis. *Arch. Oral Biol.*, 2015, vol. 60, no. 11, pp. 1675–1680. DOI: 10.1016/j.archoralbio.2015.08.001
26. Geng R., Xu Y., Hu W., Zhao H. The association between MMP-1 gene rs1799750 polymorphism and knee osteoarthritis risk. *Biosci. Rep.*, 2018, vol. 38, no. 5, pp. BSR20181257. DOI: 10.1042/BSR20181257
27. Rech T.F., Moraes S.B.C., Bredemeier M., de Paoli J., Brenol J.C.T., Xavier R.M., Chies J.A.B., Simon D. Matrix metalloproteinase gene polymorphisms and susceptibility to systemic sclerosis. *Genet. Mol. Res.*, 2016, vol. 15, no. 4. DOI: 10.4238/gmr15049077
28. Ghaffarzadeh A., Bagheri M., Khadem-Vatani K., Abdi Rad I. Association of MMP-1 (rs1799750)-1607 2G/2G and MMP-3 (rs3025058)-1612 6A/6A Genotypes With Coronary Artery Disease Risk Among Iranian Turks. *J. Cardiovasc. Pharmacol.*, 2019, vol. 74, no. 5, pp. 420–425. DOI: 10.1097/FJC.0000000000000727
29. Jacobsen L.M., Schistad E.I., Storesund A., Pedersen L.M., Espeland A., Rygh L.J., Røe C., Gjerstad J. The MMP1 rs1799750 2G allele is associated with increased low back pain, sciatica, and disability after lumbar disk herniation. *Clin. J. Pain*, 2013, vol. 29, no. 11, pp. 967–971. DOI: 10.1097/AJP.0b013e31827df7fd
30. Hecht F., Pessoa C.F., Gentile L.B., Rosenthal D., Carvalho D.P., Fortunato R.S. The role of oxidative stress on breast cancer development and therapy. *Tumour Biol.*, 2016, vol. 37, no. 4, pp. 4281–4291. DOI: 10.1007/s13277-016-4873-9
31. Alateyah N., Gupta I., Rusyniak R.S., Ouhtit A. *SOD2*, a Potential Transcriptional Target Underpinning CD44-Promoted Breast Cancer Progression. *Molecules*, 2022, vol. 27, no. 3, pp. 811. DOI: 10.3390/molecules27030811
32. Gavrilidis C., Miwa S., von Zglinicki T., Taylor R.W., Young D.A. Mitochondrial dysfunction in osteoarthritis is associated with down-regulation of superoxide dismutase 2. *Arthritis Rheum.*, 2013, vol. 65, no. 2, pp. 378–387. DOI: 10.1002/art.37782
33. Loeser R.F., Carlson C.S., Del Carlo M., Cole A. Detection of nitrotyrosine in aging and osteoarthritic cartilage: Correlation of oxidative damage with the presence of interleukin-1beta and with chondrocyte resistance to insulin-like growth factor 1. *Arthritis Rheum.*, 2002, vol. 46, no. 9, pp. 2349–2357. DOI: 10.1002/art.10496
34. Valenti L., Conte D., Piperno A., Dongiovanni P., Fracanzani A.L., Fraquelli M., Vergani A., Gianni C. [et al.]. The mitochondrial superoxide dismutase A16V polymorphism in the cardiomyopathy associated with hereditary haemochromatosis. *J. Med. Genet.*, 2004, vol. 41, no. 12, pp. 946–950. DOI: 10.1136/jmg.2004.019588
35. Souiden Y., Mallouli H., Meskhi S., Chaabouni Y., Rebai A., Chéour F., Mahdouani K. MnSOD and GPx1 polymorphism relationship with coronary heart disease risk and severity. *Biol. Res.*, 2016, vol. 49, pp. 22. DOI: 10.1186/s40659-016-0083-6
36. Synowiec E., Wigner P., Cichon N., Watala C., Czarny P., Saluk-Bijak J., Miller E., Sliwinski T. [et al.]. Single-Nucleotide Polymorphisms in Oxidative Stress-Related Genes and the Risk of a Stroke in a Polish Population-A Preliminary Study. *Brain Sci.*, 2021, vol. 11, no. 3, pp. 391. DOI: 10.3390/brainsci11030391

Mukhammadiyah G.F., Shaikhislamova E.R., Karimov D.D., Karimov D.O., Repina E.F., Yakupova T.G., Kudoyarov E.R. Predicting the risk of developing vibration disease and vegetative-sensory polyneuropathy under vibration exposure using analysis of candidate gene polymorphism. *Health Risk Analysis*, 2024, no. 2, pp. 109–116. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.10.eng

Получена: 12.03.2024

Одобрена: 07.05.2024

Принята к публикации: 20.06.2024



Научная статья

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДУКТИВНОГО ТИПА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ФАКТОРОВ РИСКА ИНФИЦИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ ВЫСОКОКОНТАГИОЗНЫМИ ВИРУСАМИ (НА МОДЕЛИ COVID-19)

И.А. Егоров<sup>1</sup>, С.С. Смирнова<sup>1,2</sup>, А.В. Семенов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Федеральный научно-исследовательский институт вирусных инфекций «Виром», Российская Федерация, 620030, г. Екатеринбург, ул. Летняя, 23

<sup>2</sup>Уральский государственный медицинский университет, Российская Федерация, 620028, г. Екатеринбург, ул. Репина, 3

*Эпидемическое и пандемическое распространение высококонтагиозных вирусов (SARS-CoV, вирус гриппа А, вирус Эбола, MERS-CoV, SARS-CoV-2) – тенденция прошедших двух десятилетий XXI в.*

*Преимущественное воздействие биологического фактора производственной среды на медицинских работников определяет высокий профессиональный риск заражения, тяжелого течения болезни и летального исхода. Интеллектуальная обработка эпидемиологических данных, основанная на алгоритмах машинного обучения, находит успешное применение в эпидемиологической практике для выявления факторов, способствующих инфицированию (предикторов), у различных контингентов риска.*

*В ходе исследования проведен интеллектуальный анализ базы данных, сформированной по результатам анкетного опроса 1312 медицинских работников. Всего обучено 6912 моделей машинного обучения. Установлено, что инфицированию SARS-CoV-2 способствовало оказание медицинской помощи пациенту с COVID-19, использование полного комплекта СИЗ после непосредственного контакта с больным COVID-19, прямой контакт с предметами внешней (больничной) среды, вакцинация от COVID-19 после непосредственного контакта с больным COVID-19, выполнение функций младшего медицинского персонала (уборщиков), присутствие при проведении процедур, генерирующих аэрозоль.*

*Установлено четыре группы предикторов, определяющих инфицирование SARS-CoV-2 медицинских работников, – контакт с больным COVID-19 и предметами окружающей его среды, качество и комплексность СИЗ, профессиональная принадлежность медицинских работников и показатели ИМТ. Наличие одного предиктора установлено у 56,2 % медицинских работников, двух – у 19,2 %, трех – у 16,4 %, четырех – у 5,5 %, пяти – у 2,7 %.*

*Таким образом, интеллектуальная обработка эпидемиологических данных является современным этапом эпидемиологического анализа. Применение методов машинного обучения позволяет провести многофакторную оценку рисков инфицирования медицинских работников SARS-CoV-2, выявить и достоверно оценить наиболее значимые предикторы. Гибкость архитектуры интеллектуального анализа данных позволяет проводить как корректировку изучаемой модели, так и динамически дополнять сформированную базу новыми данными, улавливать изменения эпидемиологической ситуации и проводить актуальные профилактические и противоэпидемические мероприятия.*

**Ключевые слова:** интеллектуальный анализ данных, искусственный интеллект, машинное обучение, риск-ориентированный подход, профессиональные предикторы инфицирования, высококонтагиозные вирусы, SARS-CoV-2, медицинские работники.

© Егоров И.А., Смирнова С.С., Семенов А.В., 2024

**Егоров Иван Андреевич** – научный сотрудник Урало-Сибирского научно-методического центра по профилактике инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (e-mail: egorov\_ia@niivirom.ru; тел.: 8 (922) 127-66-88; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7153-2827>).

**Смирнова Светлана Сергеевна** – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник, руководитель Урало-Сибирского научно-методического центра по профилактике инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи; доцент кафедры эпидемиологии, социальной гигиены и организации госсанэпидслужбы (e-mail: smirnova\_ss@niivirom.ru; тел.: 8 (908) 917-59-86; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9749-4611>).

**Семенов Александр Владимирович** – доктор биологических наук, директор; профессор кафедры медицинской микробиологии и клинической лабораторной диагностики (e-mail: semenov\_av@niivirom.ru; тел.: 8 (343) 261-99-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3223-8219>).

Прошедшие два десятилетия XXI в. характеризуются эпидемическим и пандемическим распространением высококонтагиозных вирусных патогенов. Начало века (2002) ассоциировалось с распространением тяжелого острого респираторного синдрома (ТОРС). В период с 2009 по 2010 г. Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) была объявлена пандемия вируса гриппа типа А (H1N1)<sup>1</sup>. Одна из самых крупных вспышек болезни, вызванной вирусом Эбола (БВВЭ), наблюдалась в 2014–2016 гг. на территории Западной Африки. В 2015 г. распространение получил коронавирус ближневосточного респираторного синдрома (БВРС) [1, 2]. Безусловно, одним из самых масштабных событий прошедших десятилетий XXI в. стала пандемия COVID-19 [3].

Эпидемическое и пандемическое распространение высококонтагиозных вирусов сопровождается усилением нагрузки на систему здравоохранения [4]. Преимущественное воздействие биологического фактора производственной среды на медицинских работников определяет их высокий профессиональный риск заражения высококонтагиозными вирусами, тяжелого течения болезни и летального исхода [5]. Доля медицинских работников в структуре заболевших в период эпидемий и пандемий, по данным различных исследований, достигает 30,0 % (ТОРС – 21,1 % [6]; вирус гриппа типа А (H1N1) – 27,1–30,0 % [7]; БВВЭ – 8,0 % [8]; БВРС – 18,7 % [9]; COVID-19 – 9,0–26,0 % [10]).

Технологии искусственного интеллекта успешно применяются при прогнозировании вспышечной заболеваемости различными инфекциями вирусной этиологии: болезни, вызванной вирусом Эбола [11], вирусными гепатитами и пневмонией, гриппом типа А [12, 13]. В пандемический и постпандемический периоды (COVID-19) интеллектуальный анализ накопленных данных помог решить задачи эпидемиологического характера: определение территорий, групп и факторов риска инфицирования (предикторов) COVID-19, прогнозирование заболеваемости и оценка эффективности профилактики COVID-19, прогнозирование мутаций, оценка тяжести поражения легких, дифференциальная диагностика по данным инструментальных методов обследования пациентов и моделирование молекулярного взаимодействия вируса SARS-CoV-2 [14–16]. Кроме того, практическое применение алгоритмов машинного обучения помогло решить вопросы, связанные с установлением факторов риска инфицирования медицинских работников SARS-CoV-2 [17, 18], определением приоритетных профессиональных групп медицинского сообщества для

проведения молекулярно-генетических исследований на РНК SARS-CoV-2, их изоляции [18, 19] и прогнозированием вероятности инфицирования SARS-CoV-2 по результатам интеллектуального анализа данных, полученных с носимых устройств медицинских работников [20].

Применение методов машинного обучения в определении предикторов инфицирования медицинских работников высококонтагиозными вирусами является современным этапом эпидемиологического анализа, помогает реализовать риск-ориентированный подход к профилактике заражения не только при состоявшемся эпидемическом и пандемическом распространении известных патогенов, но и при потенциальном развитии эпидемических угроз.

**Цель исследования** – по данным анкетирования медицинских работников построить модели машинного обучения и определить предикторы инфицирования медицинских работников высококонтагиозными вирусами (на модели COVID-19).

**Материалы и методы.** Исследование проведено специалистами Урало-Сибирского научно-методического центра по профилактике инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, Федерального бюджетного учреждения науки «Федеральный научно-исследовательский институт вирусных инфекций “Виром”» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ЕНИИ-ВИ ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, протокол от 24.06.2022 № 3 (название учреждения приведено на момент одобрения исследования, учреждение изменило название в соответствии с приказом Роспотребнадзора № 599 от 11.11.2022).

В пандемический период (2020–2021) на территории крупного промышленного города был проведен опрос 1312 медицинских работников. Проведение опроса включало заполнение на бумажных носителях оригинальной деперсонифицированной анкеты «Выявление профессиональных и непрофессиональных факторов, влияющих на риски инфицирования SARS-CoV-2 персонала медицинских организаций», разработанной авторами<sup>2</sup>. Структура анкеты включала открытые и закрытые вопросы, разделенные на шесть тематических блоков: половая принадлежность и антропометрические данные (рост, вес), половозрастная характеристика, профессиональная занятость, риски инфицирования COVID-19, приверженность соблюдению мер специфической и неспецифической профилактики инфицирования SARS-CoV-2, обстоятельства выявления COVID-19. Медицинских работников включали

<sup>1</sup> Influenza A (H1N1). pandemic 2009–2010 [Электронный ресурс] // WHO. – URL: [https://www.who.int/emergencies/situations/influenza-a-\(h1n1\)-outbreak](https://www.who.int/emergencies/situations/influenza-a-(h1n1)-outbreak) (дата обращения: 18.01.2024).

<sup>2</sup> Анкета для медицинских работников: документ на Яндекс Диске [Электронный ресурс]. – URL: <https://disk.yandex.ru/i/nNFNjGaVLs5KDg> (дата обращения: 12.03.2024).

в исследование на основании личного добровольного согласия, полученного от каждого работника.

Данные с каждого бумажного носителя в ручном режиме вносили в электронную таблицу формата Microsoft Excel (\*.xlsx). Первичная база данных содержала 1312 строк, численно соответствовавших количеству респондентов, (в том числе 366 строк для медицинских работников, перенесших заболевание новой коронавирусной инфекцией, и 946 – для интактных по COVID-19) и 45 столбцов, сопоставимых с вопросами в анкете. Один из столбцов выступал в качестве зависимой (целевой) переменной: значение «1» соответствовало перенесенному заболеванию COVID-19, «0» – интактность по COVID-19.

На этапе предварительной обработки из базы данных были исключены анкеты, заполненные административным персоналом и анкеты, имеющие дефекты внесения данных. Дополнительно, с целью устранения дисбаланса классов зависимой (целевой) переменной на каждую анкету медицинского работника, заболевшего COVID-19, была подобрана сопоставимая по параметрам анкета сотрудника, интактного по COVID-19. На основании данных о росте и весе респондентов рассчитывали индекс массы тела (ИМТ). Интерпретацию ИМТ проводили в соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения<sup>3</sup>.

Подготовленная база данных включала 688 строк (анкет) и 28 столбцов, содержащих неперсонифицированные данные, в том числе 27 столбцов – изучаемые предикторы и один столбец – зависимая (целевая) переменная.

Отбор предикторов для обучения моделей машинного обучения осуществляли путем определения связи между каждым предиктором зависимой (целевой) переменной с расчетом критерия  $\chi^2$  Пирсона. Было отобрано 22 предиктора, обладающих наибольшей степенью зависимости ( $p < 0,05$ ).

Сформированная окончательная база данных была разделена на обучающую (2/3,  $n = 460$ ) и тестовую (1/3,  $n = 228$ ) подвыборки. Интеллектуальный анализ проводили с использованием пяти алгоритмов машинного обучения, применяемых для задач классификации: сверхслучайные деревья, деревья решений, случайный лес, логистическая регрессия, экстремальный градиентный бустинг. Для всех алгоритмов использовали оригинальные авторские настройки. Воспроизведение алгоритмов машинного обучения осуществляли в среде разработки Jupyter notebook (v.6.0.0) на языке программирования Python (v.3.7.16). Предварительную обработку и анализ данных проводили с применением библиотеки pandas, реализацию математических и числовых операций – numpy, разделение данных на обучающую и тестовую подвыборки, нормализацию данных, расчет ста-

тистических показателей, построение матрицы несоответствий, подбор параметров для обучения моделей, отбор предикторов осуществляли с помощью библиотеки для машинного обучения scikit-learn. Функционал алгоритмов реализовывали с помощью библиотек с открытым исходным кодом. Визуализацию полученных данных проводили с применением библиотек matplotlib и seaborn, функционала визуализации – библиотек SHapley Additive exPlanations<sup>4</sup>.

Интерпретацию статистических показателей работы моделей машинного обучения проводили с построением ROC-кривых, расчетом ROC-AUC (area under the curve, площадь под кривой) и ее 95%-ного доверительного интервала (95 % ДИ).

На основании матрицы несоответствий рассчитывали долю истинно положительных, истинно отрицательных, ложноположительных и ложноотрицательных предсказаний. Учитывали только модели, обладающие статистической значимостью ( $p < 0,05$ ), а также достаточной чувствительностью и специфичностью (более 60,0 %).

Определение важности предикторов проводили с помощью показателя F-score, рассчитанного встроенным методом библиотеки экстремального градиентного бустинга – feature importance.

Силу эффекта каждого исследуемого предиктора на результат работы изучаемой модели оценивали с помощью его среднего предельного вклада (SHAP-значения) с учетом всех возможных комбинаций. Предикторами, определяющими инфицирование медицинского работника вирусом SARS-CoV-2, считали те, для которых были получены положительные SHAP-значения (больше 0). Дополнительно была проведена кластеризация изучаемых предикторов с порогом 90,0 %. Дизайн исследования представлен на рис. 1.

**Результаты и их обсуждение.** Всего было обучено 6912 моделей машинного обучения, из них (рис. 2):

- алгоритм сверхслучайных деревьев (чувствительность – 66,0, специфичность – 85,6, AUC (area under curve, площадь под кривой) – 69,9, 95 % ДИ [62,1–76,9]);
- алгоритм деревьев решений (чувствительность – 66,0, специфичность – 77,6, AUC – 73,5, 95 % ДИ [67,6–79,3]);
- алгоритм случайного леса (чувствительность – 65,0, специфичность – 80,8, AUC – 75,1, 95 % ДИ [68,1–81,5]);
- алгоритм логистической регрессии (чувствительность – 69,9, специфичность – 79,2, AUC – 79,4, 95 % ДИ [73,3–85,4]);
- алгоритм экстремального градиентного бустинга (чувствительность – 70,9, специфичность – 80,8, AUC – 80,4, 95 % ДИ [74,4–85,8]).

<sup>3</sup> Body mass index (BMI) [Электронный ресурс] // WHO. – URL: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/topic-details/GHO/body-mass-index> (дата обращения: 18.01.2024).

<sup>4</sup> Welcome to the SHAP documentation [Электронный ресурс] // SHAP. – URL: <https://shap.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения: 19.01.2024).

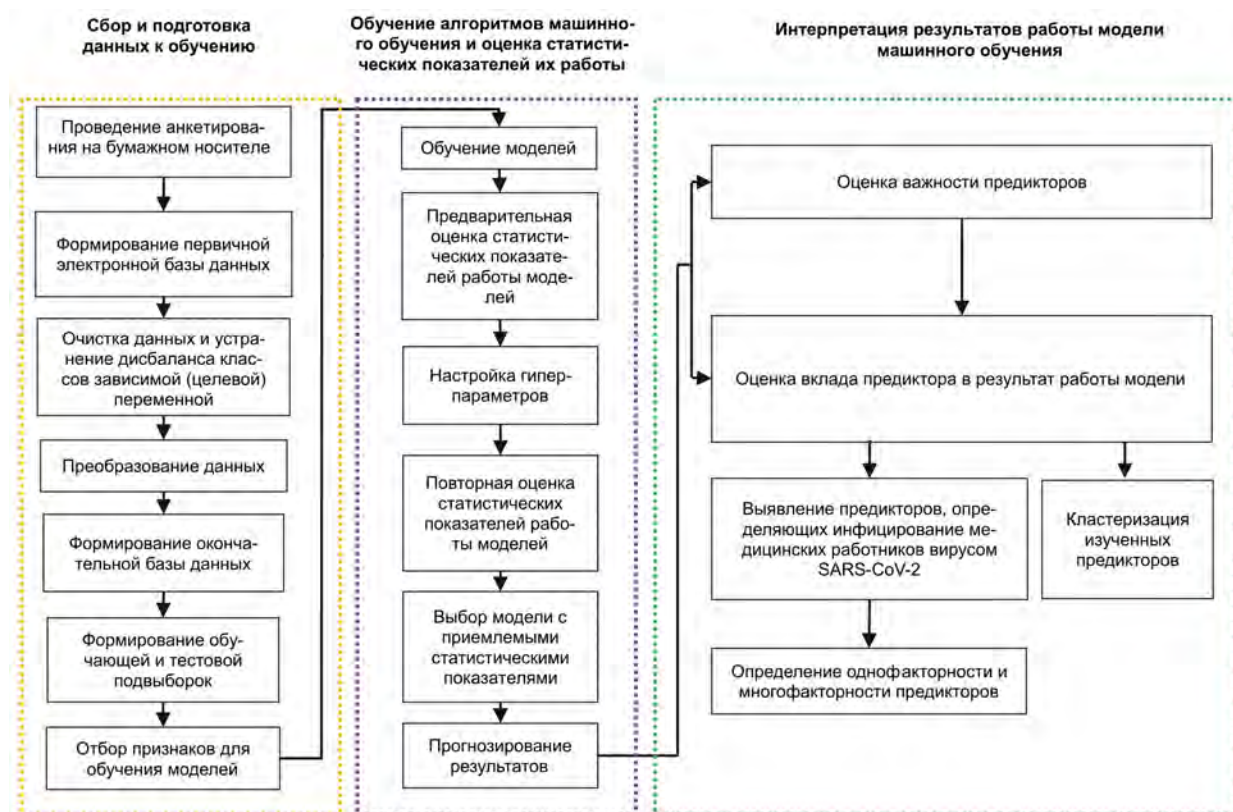


Рис. 1. Дизайн исследования

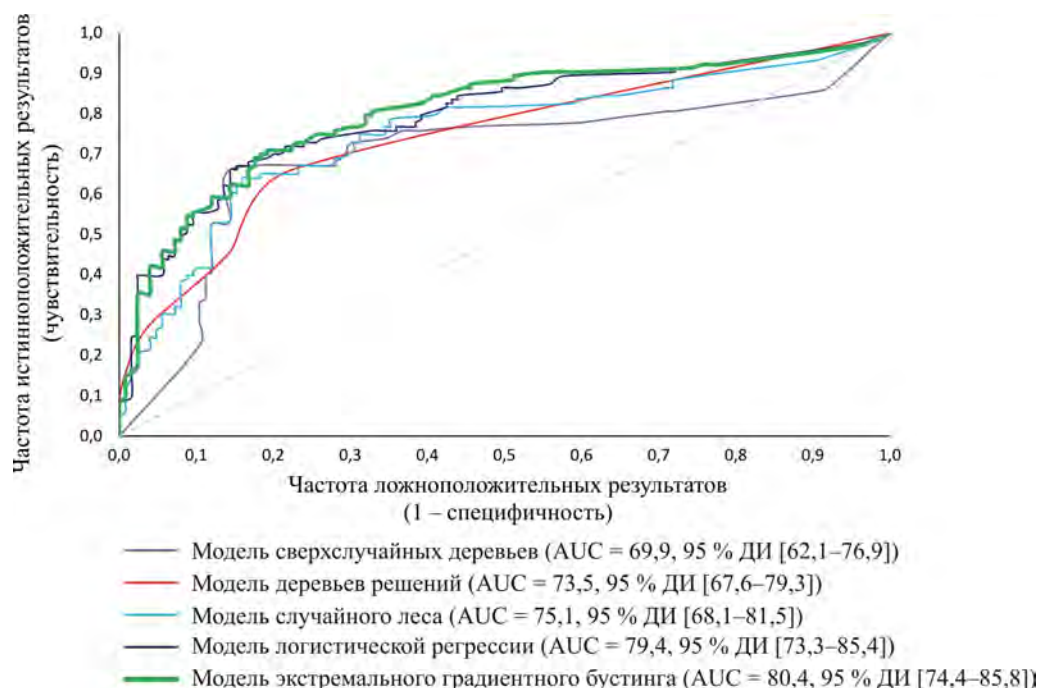


Рис. 2. ROC-кривые, описывающие статистические показатели работы алгоритмов машинного обучения

В ходе сравнительной оценки статистических показателей работы обученных моделей на исследуемом наборе персонифицированных данных установлена приемлемая чувствительность, специфичность и значение показателя AUC для алгоритма экстремального градиентного бустинга. Данный алгоритм использовался

для выявления предикторов, определяющих инфицирование медицинских работников SARS-CoV-2.

Анализ важности предикторов, проведенный с применением встроенного метода модели экстремального градиентного бустинга (показатель F-score), позволил выявить 19 предикторов (86,4 %) и сформиро-

вать несколько ранговых групп. Наибольшей важностью обладали: оказание амбулаторно-клинической медицинской помощи – 56,0, наличие заболевших COVID-19 в близком окружении медицинского работника – 46,0, оказание медицинской помощи пациенту с COVID-19 – 44,0, нормальный вес по показателю индекса массы тела (ИМТ) – 38,0, использование средств индивидуальной защиты (СИЗ) с неполной защитой органов зрения или дыхания – 32,0. Вторую ранговую позицию занимали такие предикторы, как продолжительность смены более 24 ч – 29,0, выполнение функций среднего медицинского персонала – 24,0, вакцинация от COVID-19 после непосредственного контакта с больным COVID-19 – 21,0. Третью – наличие аварийных ситуаций, связанных с экспозицией биоматериала пациента, – 19,0, избыточная масса тела (предожирение) – 17,0, наличие хронических соматических заболеваний – 16,0, прямой контакт с предметами внешней (больничной) среды – 13,0, использование полного комплекта СИЗ после непосредственного контакта с больным COVID-19 и ожирение первой степени – по 12,0. Четвертую – выполнение функций врача и ожирение второй степени – по 7,0, выполнение функций младшего медицинского персонала (уборщиков) – 6,0, присутствие при проведении процедур, генерирующих аэрозоль, – 5,0, проведение лабораторной и патолого-анатомической диагностики – 1,0.

В нашем исследовании оценка важности предикторов по показателю F-score имела ограничение при интерпретации результатов работы изучаемой модели. Определение моделью факта отсутствия дефицита или избытка веса в качестве предиктора обусловлено высокой частотой распространения данного признака в обучающей подвыборке (65,4 %,  $n = 301$ ).

В целях более четкой оценки важности предикторов, определяющих инфицирование SARS-CoV-2 медицинских работников, для дальнейших этапов исследования применялась стратегия оценки силы эффекта каждого предиктора с расчетом SHAP-значения. Данный подход позволил выявить предикторы, определяющие инфицирование, и провести их ранжирование в зависимости от величины SHAP-значения.

Сила эффекта изученных предикторов имела различную интенсивность – до 10,5 раза (0,9904–0,0943,  $p < 0,05$ ), в том числе (рис. 3): оказание медицинской помощи пациенту с COVID-19 ( $2,378 \pm 0,791$ ,  $p < 0,05$ ), использование полного комплекта СИЗ после непосредственного контакта с больным COVID-19 ( $0,565 \pm 0,17$ ,  $p < 0,05$ ), прямой контакт с предметами внешней (больничной) среды ( $0,547 \pm 0,146$ ,  $p < 0,05$ ), вакцинация от COVID-19 после непосредственного контакта с больным COVID-19 ( $0,304 \pm 0,072$ ,  $p < 0,05$ ), выполнение функций младшего медицинского персонала (уборщиков) ( $0,162 \pm 0,035$ ,  $p < 0,05$ ), присутствие при проведении процедур, генерирующих аэрозоль ( $0,109 \pm 0,022$ ,  $p < 0,05$ ). Отмечено, что ряд предикторов, определяющих инфициро-

вание SARS-CoV-2, не были связаны с профессией. Например, наличие заболевших COVID-19 в близком окружении медицинского работника ( $1,464 \pm 0,58$ ,  $p < 0,05$ ), ожирение второй степени ( $0,259 \pm 0,04$ ,  $p < 0,05$ ), наличие хронических соматических заболеваний ( $0,148 \pm 0,092$ ,  $p < 0,05$ ).

Проведенный кластерный анализ предикторов, определяющих инфицирование SARS-CoV-2 медицинских работников, позволил выявить четыре разнородных кластера (рис. 4):

- 1-й кластер был связан с непосредственным контактом с больным COVID-19 или предметами окружающей его внешней (больничной) среды: оказание медицинской помощи пациенту с COVID-19 ( $p < 0,05$ ), присутствие при проведении процедур, генерирующих аэрозоль ( $p < 0,05$ ), прямой контакт с предметами внешней (больничной) среды ( $p < 0,05$ );

- 2-й кластер характеризовал качество и комплектность применяемых СИЗ: использование СИЗ с неполной защитой органов зрения или дыхания ( $p > 0,05$ ), использование полного комплекта СИЗ после непосредственного контакта с больным COVID-19 ( $p < 0,05$ );

- 3-й кластер отражал профессиональную принадлежность медицинских работников: выполнение функций младшего медицинского персонала (уборщиков) ( $p < 0,05$ ), выполнение функций среднего медицинского персонала ( $p > 0,05$ ), выполнение функций врача ( $p > 0,05$ );

- 4-й кластер характеризовал личные признаки сотрудника, такие как ИМТ: нормальный вес по показателю индекса массы тела (ИМТ) ( $p > 0,05$ ), избыточная масса тела (предожирение) ( $p > 0,05$ ), ожирение первой степени ( $p > 0,05$ ).

Следующим этапом исследования явилось определение однофакторности и многофакторности взаимодействия изучаемых предикторов, связанных с профессиональной деятельностью.

В нашем исследовании наличие одного предиктора, определяющего инфицирование SARS-CoV-2, было установлено у 56,2 % медицинских работников, двух – у 19,2 %, трех – у 16,4 %, четырех – у 5,5 %, пяти – у 2,7 %.

Частота встречаемости предикторов при однофакторном воздействии различалась. Лидирующее место занимала вакцинация от COVID-19 лишь после непосредственного контакта с больным COVID-19 – 65,9 %, второе – выполнение функций младшего медицинского персонала (уборщиков) – 22,0 %, третье – оказание медицинской помощи пациенту с COVID-19 – 12,2 %.

При наличии двух предикторов первое ранговое место делили присутствие при проведении процедур, генерирующих аэрозоль, и использование полного комплекта СИЗ после непосредственного контакта с больным COVID-19 – по 32,1 %, второе место занимала вакцинация от COVID-19 после непосредственного контакта с больным COVID-19 – 17,9 %, третье – оказание медицинской помощи



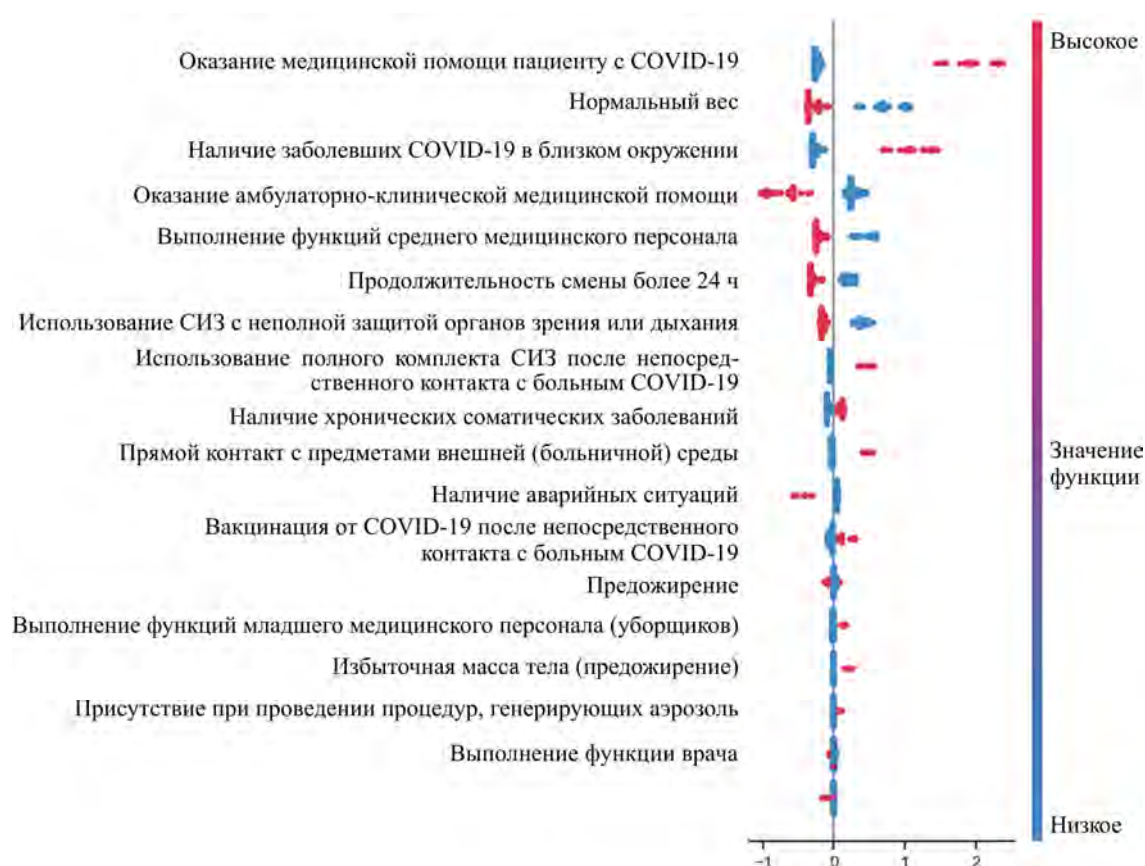


Рис. 3. Предикторы, определяющие инфицирование медицинских работников SARS-CoV-2

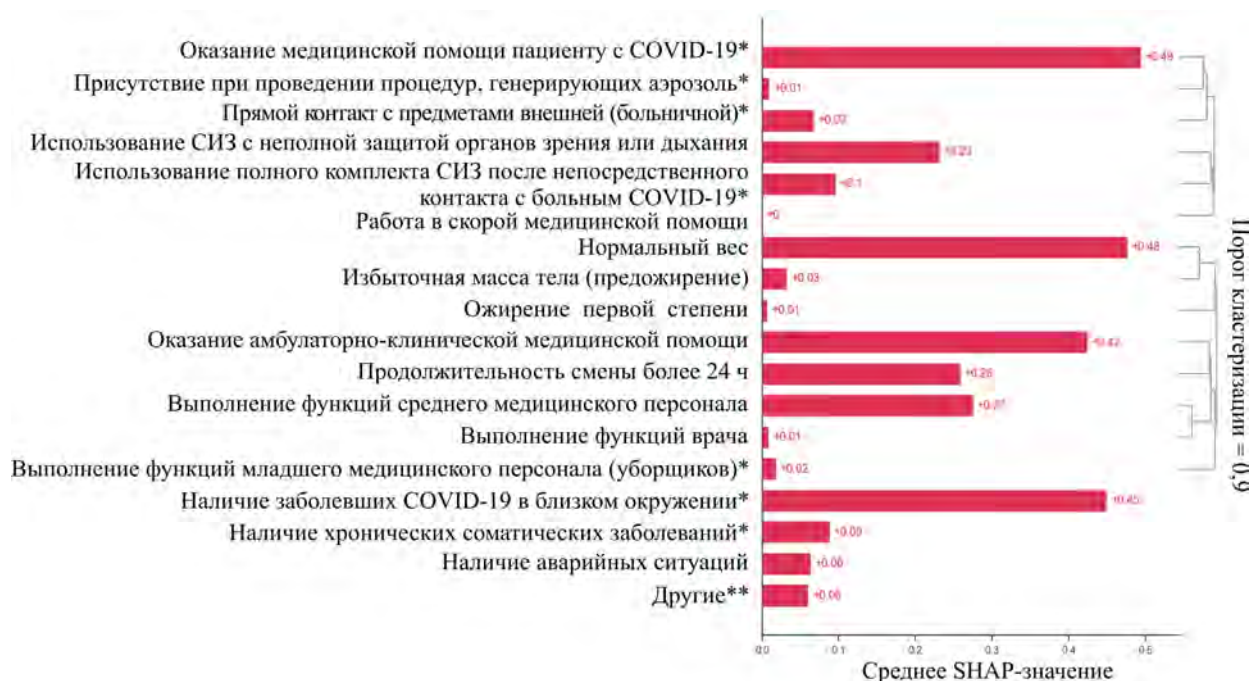


Рис. 4. Кластеризация предикторов, определяющих инфицирование медицинских работников SARS-CoV-2:

- \* – предикторы, имеющие положительное влияние на инфицирование медицинских работников SARS-CoV-2;  
 \*\* – сумма SHAP-значений: вакцинация от COVID-19 после непосредственного контакта с больным COVID-19; ожирение второй и третьей степени; недостаточный вес; проведение лабораторной и патолого-анатомической диагностики



пациенту с COVID-19 – 10,7 %, четвертое – выполнение функций младшего медицинского персонала (уборщиков) – 7,1 %.

Структура многофакторного взаимодействия при наличии трех предикторов выглядела следующим образом: присутствие при проведении процедур, генерирующих аэрозоль, – 27,8 %, оказание медицинской помощи пациенту с COVID-19 и использование полного комплекта СИЗ после непосредственного контакта с больным COVID-19 – по 19,4 %, вакцинация от COVID-19 после непосредственного контакта с больным COVID-19 и прямой контакт с предметами внешней (больничной) среды – по 13,9 %, выполнение функций младшего медицинского персонала (уборщиков) – 5,6 %.

При наличии четырех предикторов многофакторное взаимодействие определялось присутствием при проведении процедур, генерирующих аэрозоль, и прямым контактом с предметами внешней (больничной) среды – по 25,0 %, оказанием медицинской помощи пациенту с COVID-19 и использованием полного комплекта СИЗ после непосредственного контакта с больным COVID-19 – 18,8 %, вакцинацией от COVID-19 после непосредственного контакта с больным COVID-19 и выполнением функций младшего медицинского персонала (уборщиков) – по 6,3 %.

Равная частота встречаемости была установлена при одновременном наличии пяти предикторов: вакцинация от COVID-19 после непосредственного контакта с больным COVID-19, оказание медицинской помощи пациенту с COVID-19, присутствие при проведении процедур, генерирующих аэрозоль, использование полного комплекта СИЗ после непосредственного контакта с больным COVID-19, пря-

мой контакт с предметами внешней (больничной) среды – по 20,0 %.

**Выводы.** Таким образом, интеллектуальная обработка эпидемиологических данных является современным этапом эпидемиологического анализа. Применение методов машинного обучения позволяет провести многофакторную оценку рисков инфицирования медицинских работников SARS-CoV-2, выявить и достоверно оценить наиболее значимые предикторы, сформировать группы риска с возможностью реализации персонализированного подхода к профилактике профессионального заражения вирусными патогенами.

Гибкость архитектуры интеллектуального анализа эпидемиологических данных позволяет проводить как корректировку изучаемой модели, так и динамически дополнять сформированную базу новыми данными, улавливать изменения эпидемиологической ситуации и проводить актуальные профилактические и противоэпидемические мероприятия. Качество и точность результата работы модели машинного обучения достигается полным и качественным сбором первоначальных данных, проведением предварительной обработки и использованием для обучения модели выверенных баз (наборов) данных.

**Финансирование.** Исследование выполнено в рамках научно-исследовательской работы «Изучение эпидемического процесса и профилактика вирусных инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (на примере ветряной оспы, норо- и ротавирусной инфекции и др.)», Рег. № НИОКТР 121040500099-5.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

### Список литературы

1. Infectious disease in an era of global change / R.E. Baker, A.S. Mahmud, I.F. Miller, M. Rajeev, F. Rasambainarivo, B.L. Rice, S. Takahashi, A.J. Tatem [et al.] // *Nat. Rev. Microbiol.* – 2022. – Vol. 20, № 4. – P. 193–205. DOI: 10.1038/s41579-021-00639-z
2. Emerging paradigms of viral diseases and paramount role of natural resources as antiviral agents / R. Sagaya Jansi, A. Khuro, P. Agastian, A. Alfathan, N.A. Al-Dhabi, M.V. Arasu, R. Rajagopal, D. Barcelo, A. Al-Tamimi // *Sci. Total Environ.* – 2021. – Vol. 759. – P. 143539. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143539
3. Ashmore P., Sherwood E. An overview of COVID-19 global epidemiology and discussion of potential drivers of variable global pandemic impacts // *J. Antimicrob. Chemother.* – 2023. – Vol. 78, Suppl. 2. – P. ii2–ii11. DOI: 10.1093/jac/dkad311
4. Risk factors and protective measures for healthcare worker infection during highly infectious viral respiratory epidemics: A systematic review and meta-analysis / C. Tian, O. Lovrics, A. Vaisman, K.J. Chin, G. Tomlinson, Y. Lee, M. Englesakis, M. Parotto, M. Singh // *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* – 2022. – Vol. 43, № 5. – P. 639–650. DOI: 10.1017/ice.2021.18
5. COVID-19 and healthcare workers: A systematic review and meta-analysis / M. Gholami, I. Fawad, S. Shadan, R. Rowaiee, H. Ghanem, A. Hassan Khamis, S.B. Ho // *Int. J. Infect. Dis.* – 2021. – Vol. 104. – P. 335–346. DOI: 10.1016/j.ijid.2021.01.013
6. Effectiveness of precautions against droplets and contact in prevention of nosocomial transmission of severe acute respiratory syndrome (SARS) / W.H. Seto, D. Tsang, R.W.H. Yung, T.Y. Ching, T.K. Ng, M. Ho, L.M. Ho, J.S.M. Peiris, Advisors of Expert SARS group of Hospital Authority // *Lancet.* – 2003. – Vol. 361, № 9368. – P. 1519–1520. DOI: 10.1016/s0140-6736(03)13168-6
7. Factors associated with the transmission of pandemic (H1N1) 2009 among hospital healthcare workers in Beijing, China / Y. Zhang, H. Seale, P. Yang, C.R. MacIntyre, B. Blackwell, S. Tang, Q. Wang // *Influenza Other Respir. Viruses.* – 2013. – Vol. 7, № 3. – P. 466–471. DOI: 10.1111/irv.12025
8. Epidemiology of Ebola virus disease transmission among health care workers in Sierra Leone, May to December 2014: a retrospective descriptive study / O. Olu, B. Kargbo, S. Kamara, A.H. Wurie, J. Amone, L. Ganda, B. Ntsama, A. Poy [et al.] // *BMC Infect. Dis.* – 2015. – Vol. 15. – P. 416. DOI: 10.1186/s12879-015-1166-7
9. Risk Factors for Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus Infection among Healthcare Personnel / B.M. Al-raddadi, H.S. Al-Salmi, K. Jacobs-Slifka, R.B. Slayton, C.F. Estivariz, A.I. Geller, H.H. Al-Turkistani, S.S. Al-Rehily [et al.] // *Emerg. Infect. Dis.* – 2016. – Vol. 22, № 11. – P. 1915–1920. DOI: 10.3201/eid2211.160920
10. Сравнительная оценка рисков инфицирования SARS-CoV-2 у работников медицинских организаций крупного промышленного города в период пандемии / С.С. Смирнова, И.А. Егоров, Н.Н. Жуйков, Л.Г. Вяткина, А.Н. Харитонов, А.В. Семенов, О.В. Морозова // *Анализ риска здоровью.* – 2022. – № 2. – С. 139–150. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.13

11. The Large Scale Machine Learning in an Artificial Society: Prediction of the Ebola Outbreak in Beijing / P. Zhang, B. Chen, L. Ma, Z. Li, Z. Song, W. Duan, X. Qiu // *Comput. Intell. Neurosci.* – 2015. – Vol. 2015. – P. 531650. DOI: 10.1155/2015/531650
12. Alqaissi E.Y., Alotaibi F.S., Ramzan M.S. Modern Machine-Learning Predictive Models for Diagnosing Infectious Diseases // *Comput. Math. Methods Med.* – 2022. – Vol. 2022. – P. 6902321. DOI: 10.1155/2022/6902321
13. Singh R., Singh R. Applications of sentiment analysis and machine learning techniques in disease outbreak prediction – A review // *Materials Today: Proceedings.* – 2021. – Vol. 81, № 2. – P. 1006–1011. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.04.356
14. Artificial Intelligence in the Fight Against COVID-19: Scoping Review / A. Abd-Alrazaq, M. Alajlani, D. Alhuwail, J. Schneider, S. Al-Kuwari, Z. Shah, M. Hamdi, M. Househ // *J. Med. Internet Res.* – 2020. – Vol. 22, № 12. – P. e20756. DOI: 10.2196/20756
15. Comprehensive Overview of the COVID-19 Literature: Machine Learning-Based Bibliometric Analysis / A. Abd-Alrazaq, J. Schneider, B. Mifsud, T. Alam, M. Househ, M. Hamdi, Z.A. Shah // *J. Med. Internet Res.* – 2021. – Vol. 23, № 3. – P. e23703. DOI: 10.2196/23703
16. The application of artificial intelligence and data integration in COVID-19 studies: a scoping review / Y. Guo, Y. Zhang, T. Lyu, M. Prosperi, F. Wang, H. Xu, J. Bian // *J. Am. Med. Inform. Assoc.* – 2021. – Vol. 28, № 9. – P. 2050–2067. DOI: 10.1093/jamia/ocab098
17. McCall B. COVID-19 and artificial intelligence: protecting health-care workers and curbing the spread // *Lancet Digit. Health.* – 2020. – Vol. 2, № 4. – P. e166–e167. DOI: 10.1016/S2589-7500(20)30054-6
18. Strong associations and moderate predictive value of early symptoms for SARS-CoV-2 test positivity among healthcare workers, the Netherlands, March 2020 / A. Tostmann, J. Bradley, T. Bousema, W.-K. Yiek, M. Holwerda, C. Bleeker-Rovers, J. Ten Oever, C. Meijer [et al.] // *Euro Surveill.* – 2020. – Vol. 25, № 16. – P. 2000508. DOI: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.16.2000508
19. Routine Laboratory Blood Tests Predict SARS-CoV-2 Infection Using Machine Learning / H.S. Yang, Y. Hou, L.V. Vasovic, P.A.D. Steel, A. Chadburn, S.E. Racine-Brzostek, P. Velu, M.M. Cushing [et al.] // *Clin. Chem.* – 2020. – Vol. 66, № 11. – P. 1396–1404. DOI: 10.1093/clinchem/hvaa200
20. Evaluation of a machine learning approach utilizing wearable data for prediction of SARS-CoV-2 infection in health-care workers / R.P. Hirten, L. Tomalin, M. Danieletto, E. Golden, M. Zweig, S. Kaur, D. Helmus, A. Biello [et al.] // *JAMIA Open.* – 2022. – Vol. 5, № 2. – P. ooac041. DOI: 10.1093/jamiaopen/ooac041

*Егоров И.А., Смирнова С.С., Семенов А.В. Использование индуктивного типа машинного обучения для выявления факторов риска инфицирования медицинских работников высококонтагиозными вирусами (на модели COVID-19) // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 122–131. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.11*

UDC 613.6.02, 616-036.22, 004.8

DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.11.eng

Read  
online



Research article

## USING INDUCTIVE MACHINE LEARNING TO IDENTIFY RISK FACTORS FOR HEALTHCARE WORKERS TO GET INFECTED WITH HIGHLY CONTAGIOUS VIRUSES (BASED ON COVID-19 MODEL)

**I.A. Egorov<sup>1</sup>, S.S. Smirnova<sup>1,2</sup>, A.V. Semenov<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Federal Scientific Research Institute of Viral Infections «Virome», 23 Letnyaya St., Ekaterinburg, 620030, Russian Federation

<sup>2</sup>Ural State Medical University, 3 Repina St., Ekaterinburg, 620028, Russian Federation

*Epidemic and pandemic spread of highly contagious viruses (SARS-CoV, influenza A virus, Ebola virus, MERS-CoV, and SARS-CoV-2) has been a trend observed in the first two decades of the 21<sup>st</sup> century.*

© Egorov I.A., Smirnova S.S., Semenov A.V., 2024

**Ivan A. Egorov** – Researcher at Ural-Siberian Research and Methodology Center for Prevention of Healthcare-Associated Infections (e-mail: egorov\_ia@niivirom.ru; tel.: +7 (922) 127-66-88; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7153-2827>).

**Svetlana S. Smirnova** – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher, Head of the Ural-Siberian Research and Methodology Center for Prevention of Healthcare-Associated Infections; Associate Professor of the Department of Epidemiology, Social Hygiene and Organization of Sanitary and Epidemiological Service (e-mail: smirnova\_ss@niivirom.ru; tel.: +7 (908) 917-59-86; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9749-4611>).

**Aleksandr V. Semenov** – Doctor of Biological Sciences, director; Professor of the Department of Medical Microbiology and Clinical Laboratory Diagnostics (e-mail: semenov\_av@niivirom.ru; tel.: +7 (343) 261-99-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3223-8219>).

*The predominant impact made by the biological occupational factor on healthcare workers determines their high occupational risk of infection, a severe disease course and a fatal outcome. Epidemiological data mining based on machine learning algorithms is successfully used in epidemiological practice to identify factors (predictors) contributing to infection in various risk populations.*

*In this study, the database generated from a survey of 1312 healthcare workers was analyzed intelligently. A total of 6912 machine learning models were implemented. SARS-CoV-2 infection was found to be facilitated by providing medical care to a COVID-19 patient, using a full set of PPE after direct contact with a COVID-19 patient, direct contact with items in the external (hospital) environment, vaccination against COVID-19 after direct contact with a COVID-19 patient, acting as nursing staff (cleaners) and being present during aerosol-generating procedures.*

*The study identified four groups of predictors determining SARS-CoV-2 infection in healthcare workers: contact with a COVID-19 patient and environmental items, PPE quality and complexity, occupational affiliation of healthcare workers and their BMI values. One predictor was found in 56.2 % of healthcare workers; two, in 19.2 %; three, in 16.4 %; four, in 5.5 %; and five predictors, in 2.7 %.*

*Thus, epidemiological data mining is a modern stage in epidemiological analysis. The use of machine learning methods allows for multifactorial assessment of SARS-CoV-2 infection risks in healthcare workers and enables identifying and reliably estimating the most significant predictors. Intelligent data analysis has flexible architecture, which allows adjusting the model under study and supplementing new data to the existing database, detecting changes in an epidemiological situation and accomplishing relevant preventive and anti-epidemic activities.*

**Keywords:** data mining, artificial intelligence, machine learning, risk-based approach, occupational predictors of infection, highly contagious viruses, SARS-CoV-2, healthcare workers.

## References

1. Baker R.E., Mahmud A.S., Miller I.F., Rajeev M., Rasambainarivo F., Rice B.L., Takahashi S., Tatem A.J. [et al.]. Infectious disease in an era of global change. *Nat. Rev. Microbiol.*, 2022, vol. 20, no. 4, pp. 193–205. DOI: 10.1038/s41579-021-00639-z
2. Sagaya Jansi R., Khusro A., Agastian P., Alfarhan A., Al-Dhabi N.A., Arasu M.V., Rajagopal R., Barcelo D., Al-Tamimi A. Emerging paradigms of viral diseases and paramount role of natural resources as antiviral agents. *Sci. Total Environ.*, 2021, vol. 759, pp. 143539. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143539
3. Ashmore P., Sherwood E. An overview of COVID-19 global epidemiology and discussion of potential drivers of variable global pandemic impacts. *J. Antimicrob. Chemother.*, 2023, vol. 78, suppl. 2, pp. ii2–ii11. DOI: 10.1093/jac/dkad311
4. Tian C., Lovrics O., Vaisman A., Chin K.J., Tomlinson G., Lee Y., Englesakis M., Parotto M., Singh M. Risk factors and protective measures for healthcare worker infection during highly infectious viral respiratory epidemics: A systematic review and meta-analysis. *Infect. Control Hosp. Epidemiol.*, 2022, vol. 43, no. 5, pp. 639–650. DOI: 10.1017/ice.2021.18
5. Gholami M., Fawad I., Shadan S., Rowaiee R., Ghanem H., Hassan Khamis A., Ho S.B. COVID-19 and healthcare workers: A systematic review and meta-analysis. *Int. J. Infect. Dis.*, 2021, vol. 104, pp. 335–346. DOI: 10.1016/j.ijid.2021.01.013
6. Seto W.H., Tsang D., Yung R.W.H., Ching T.Y., Ng T.K., Ho M., Ho L.M., Peiris J.S.M., Advisors of Expert SARS group of Hospital Authority. Effectiveness of precautions against droplets and contact in prevention of nosocomial transmission of severe acute respiratory syndrome (SARS). *Lancet*, 2003, vol. 361, no. 9368, pp. 1519–1520. DOI: 10.1016/s0140-6736(03)13168-6
7. Zhang Y., Seale H., Yang P., MacIntyre C.R., Blackwell B., Tang S., Wang Q. Factors associated with the transmission of pandemic (H1N1) 2009 among hospital healthcare workers in Beijing, China. *Influenza Other Respir. Viruses*, 2013, vol. 7, no. 3, pp. 466–471. DOI: 10.1111/irv.12025
8. Olu O., Kargbo B., Kamara S., Wurie A.H., Amone J., Ganda L., Ntsama B., Poy A. [et al.]. Epidemiology of Ebola virus disease transmission among health care workers in Sierra Leone, May to December 2014: a retrospective descriptive study. *BMC Infect. Dis.*, 2015, vol. 15, pp. 416. DOI: 10.1186/s12879-015-1166-7
9. Alraddadi B.M., Al-Salmi H.S., Jacobs-Slifka K., Slayton R.B., Estivariz C.F., Geller A.I., Al-Turkistani H.H., Al-Rehily S.S. [et al.]. Risk Factors for Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus Infection among Healthcare Personnel. *Emerg. Infect. Dis.*, 2016, vol. 22, no. 11, pp. 1915–1920. DOI: 10.3201/eid2211.160920
10. Smirnova S.S., Egorov I.A., Zhuikov N.N., Vyatkina L.G., Kharitonov A.N., Semenov A.V., Morova O.V. Risks of becoming infected with SARS-CoV-2 for medical personnel in a large industrial city during the pandemic: comparative assessment. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 139–150. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.13.eng
11. Zhang P., Chen B., Ma L., Li Z., Song Z., Duan W., Qiu X. The Large Scale Machine Learning in an Artificial Society: Prediction of the Ebola Outbreak in Beijing. *Comput. Intell. Neurosci.*, 2015, vol. 2015, pp. 531650. DOI: 10.1155/2015/531650
12. Alqaissi E.Y., Alotaibi F.S., Ramzan M.S. Modern Machine-Learning Predictive Models for Diagnosing Infectious Diseases. *Comput. Math. Methods Med.*, 2022, vol. 2022, pp. 6902321. DOI: 10.1155/2022/6902321
13. Singh R., Singh R. Applications of sentiment analysis and machine learning techniques in disease outbreak prediction – A review. *Materials Today: Proceedings*, 2021, vol. 81, no. 2, pp. 1006–1011. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.04.356
14. Abd-Alrazaq A., Alajlani M., Alhuwail D., Schneider J., Al-Kuwari S., Shah Z., Hamdi M., Househ M. Artificial Intelligence in the Fight Against COVID-19: Scoping Review. *J. Med. Internet Res.*, 2020, vol. 22, no. 12, pp. e20756. DOI: 10.2196/20756
15. Abd-Alrazaq A., Schneider J., Mifsud B., Alam T., Househ M., Hamdi M., Shah Z.A. Comprehensive Overview of the COVID-19 Literature: Machine Learning-Based Bibliometric Analysis. *J. Med. Internet Res.*, 2021, vol. 23, no. 3, pp. e23703. DOI: 10.2196/23703

16. Guo Y., Zhang Y., Lyu T., Prosperi M., Wang F., Xu H., Bian J. The application of artificial intelligence and data integration in COVID-19 studies: a scoping review. *J. Am. Med. Inform. Assoc.*, 2021, vol. 28, no. 9, pp. 2050–2067. DOI: 10.1093/jamia/ocab098
17. McCall B. COVID-19 and artificial intelligence: protecting health-care workers and curbing the spread. *Lancet Digit. Health*, 2020, vol. 2, no. 4, pp. e166–e167. DOI: 10.1016/S2589-7500(20)30054-6
18. Tostmann A., Bradley J., Bousema T., Yiek W.-K., Holwerda M., Bleeker-Rovers C., Ten Oever J., Meijer C. [et al.]. Strong associations and moderate predictive value of early symptoms for SARS-CoV-2 test positivity among healthcare workers, the Netherlands, March 2020. *Euro Surveill.*, 2020, vol. 25, no. 16, pp. 2000508. DOI: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.16.2000508
19. Yang H.S., Hou Y., Vasovic L.V., Steel P.A.D., Chadburn A., Racine-Brzostek S.E., Velu P., Cushing M.M. [et al.]. Routine Laboratory Blood Tests Predict SARS-CoV-2 Infection Using Machine Learning. *Clin. Chem.*, 2020, vol. 66, no. 11, pp. 1396–1404. DOI: 10.1093/clinchem/hvaa200
20. Hirtten R.P., Tomalin L., Danieleto M., Golden E., Zweig M., Kaur S., Helmus D., Biello A. [et al.]. Evaluation of a machine learning approach utilizing wearable data for prediction of SARS-CoV-2 infection in healthcare workers. *JAMIA Open*, 2022, vol. 5, no. 2, pp. ooac041. DOI: 10.1093/jamiaopen/ooac041

Egorov I.A., Smirnova S.S., Semenov A.V. Using inductive machine learning to identify risk factors for healthcare workers to get infected with highly contagious viruses (based on COVID-19 model). *Health Risk Analysis*, 2024, no. 2, pp. 122–131. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.11.eng

Получена: 02.02.2024

Одобрена: 22.04.2024

Принята к публикации: 20.06.2024



Научная статья

## МНОЖЕСТВЕННАЯ ЛЕКАРСТВЕННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ УРОПАТОГЕНОВ КАК ФАКТОР РИСКА ПРИ ОКАЗАНИИ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ (ОПЫТ ЦЕНТРАЛЬНОЙ БОЛГАРИИ)

С. Алекова, Р. Койчева

Тракийски университет, Болгария, 6000, г. Стара-Загора, ул. Армейская, 11

*Возникновение устойчивости уропатогенных бактерий к множественным антимикробным препаратам является значимой проблемой здравоохранения. Указанные микроорганизмы вызывают инфекции мочевыводящих путей – распространенных заболеваний, подлежащих амбулаторному лечению.*

*Проведено одновременное поперечное углубленное исследование 353 пациентов поликлиник в возрасте старше 18 лет, анализ мочи которых оказался положительным на наличие бактерий. В рамках исследования был определен индекс множественной лекарственной устойчивости (МЛУ) уропатогенов, вызывающих инфекции у таких пациентов. Исследование проводилось в период с января по июнь 2023 г. в частном клиническом лабораторном центре в г. Стара-Загора, Болгария.*

*Одна треть штаммов E. coli и более половины штаммов Klebsiella pneumoniae имели значение измеренного индекса МЛУ выше 0,2, а также подтвержденный высокий уровень устойчивости к аминопенициллинам и цефалоспорином. Настораживающе высокие уровни индекса МЛУ были определены для всех представителей Enterococcus faecalis, видов Enterobacter и Pseudomonas aeruginosa. Устойчивость данных патогенов к некоторым антимикробным препаратам, наиболее часто назначаемым при амбулаторном лечении, варьировалась от 58,3 до 100 %.*

*Результаты исследования подчеркивают значимость и серьезность существующей проблемы возрастающего преобладания уропатогенных микроорганизмов с МЛУ к антибиотикам, принимаемым перорально, что повышает риски неэффективности медицинской помощи пациентам.*

**Ключевые слова:** инфекции мочевыводящих путей, бактерии, индекс множественной лекарственной устойчивости, уропатогены, антимикробные препараты, фактор риска.

Подавляющее большинство рецептов на антибиотики выписываются пациентам в рамках первичной и специализированной медицинской помощи [1]. Безответственное и некомпетентное поведение пациентов при самолечении является огромной ошибкой, приводящей к массовому применению антибиотиков [2]. Инфекции мочевыводящих путей (ИМП) являются наиболее распространенными бактериальными заболеваниями, которым в одинаковой степени подвержены и мужчины и женщины. Инфекции становится все труднее и труднее лечить в амбулаторных условиях, все больше времени требуется на их устранение по причине приобретенной

лекарственной устойчивости выделяемых бактериальных штаммов. К сожалению, лекарственная устойчивость является одной из самых серьезных угроз здоровью населения, поскольку она увеличивает затраты на здравоохранение и повышает частоту неблагоприятных исходов лечения [3]. Лекарственная устойчивость – это способность микроорганизма сопротивляться действию одного или нескольких антимикробных препаратов в результате мутации хромосомных генов или приобретения внешних генов устойчивости [4, 5]. Путем приобретения механизмов множественной лекарственной устойчивости (МЛУ) бактериальные штаммы становятся устойчи-

© Алекова С., Койчева Р., 2024

**Алекова Севдалина Тодорова** – доктор медицинских наук, главный ассистент кафедры внутренних болезней и общей медицины медицинского факультета (e-mail: sevdalina.alekova@abv.bg; тел.: +359 896-610-001; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0443-5891>).

**Койчева Ренета** – доктор медицинских наук, главный ассистент кафедры внутренних болезней и общей медицины медицинского факультета (e-mail: koychevar@abv.bg; тел.: +359 888-990-135).

выми к нескольким классам антибиотиков, что значительно ограничивает доступные терапевтические возможности борьбы с инфекцией [6].

В научной литературе существует относительно небольшое количество исследований, посвященных распространению микроорганизмов с МЛУ, которые вызывают инфекции мочевыводящих путей, а также диагностированию таких инфекций в рамках первичной и специализированной медицинской помощи. Есть только несколько публикаций на тему индексирования множественной лекарственной устойчивости бактериальных штаммов, вызывающих инфекции у госпитализированных пациентов.

**Цель исследования** – определение индекса МЛУ уропатогенов у пациентов, находящихся на амбулаторном лечении, и уровней их устойчивости к коммерчески доступным и регулярно применяемым антибиотикам.

**Материалы и методы.** Проведено одновременное поперечное углубленное исследование 353 пациентов в возрасте старше 18 лет, находящихся на амбулаторном лечении, у которых была заподозрена инфекция мочевыводящих путей. Дополнительным критерием включения являлось наличие бактериальной культуры в моче пациента и примененный тест восприимчивости к антибиотикам. Из исследования исключались пациенты в возрасте старше 18 лет с предполагаемой инфекцией мочевыводящих путей, которые наблюдались у врача первичной или специализированной медицинской помощи, но в анализе мочи которых не были обнаружены бактериальные культуры.

Исследование проведено в клиническом лабораторном центре в г. Стара-Загора, Болгария. Продолжительность исследования составила шесть месяцев – с января по июнь 2023 г.

В первичную выборку были включены 763 пациента, проживающие в регионах Стара-Загора и Хасково. В окончательную выборку исследования были включены только 353 пациента с подтвержденным наличием бактериальных культур в моче.

Для анализа бактериальных штаммов применялись стандартные микробиологические методы – окрашивание красителем Грама, определение культур в моче, биохимические тесты и микроскопия для подтверждения.

Уропатогенные бактерии, изучаемые в данном исследовании, не являлись дубликатами штаммов микроорганизмов, идентифицированных в пробах мочи пациентов с подозрением на инфекцию мочевыводящих путей, обратившихся за амбулаторной медицинской помощью.

Стандартный метод Кирби – Бауэра с применением диффузионного диска использовался для определения восприимчивости микроорганизмов к

антибиотикам. Тесты на восприимчивость к антибиотикам выполнялись с применением агара Мюллера – Хинтона в соответствии с рекомендациями Института клинических и лабораторных стандартов<sup>1</sup>.

Также для установления восприимчивости к антибиотикам самых требовательных бактерий с определенными пищевыми предпочтениями применялся метод выявления минимальных ингибирующих концентраций (МИК). Тест на восприимчивость к антибиотикам осуществлялся для 26 антибиотиков, включая ципрофлоксацин, ампициллин + сульбактам, амоксициллин, амоксициллин + клавулановая кислота, цефадроксил, цефалксин, цефпроцил, цефтазидим, цефиксим, триметоприм / сульфаметоксазол, имипенем, меропенем, амикацин, нитроксилин, рифампицин, пиперацillin + тазобактам, ванкомицин, гентамицин, цефуроксим, доксициллин, левофлоксацин, моксифлоксацин, фосфомицин, колистин, тигециклин, цефтазидим + авибактам.

**Определение индекса МЛУ.** Штаммы, включенные в исследование, являются значимыми для здравоохранения, поскольку они часто обладают перекрестной или со-устойчивостью к множественным классам антибиотиков, что означает наличие у них МЛУ. Индекс МЛУ является инструментом определения уровня МЛУ каждого изолированного устойчивого уропатогена. В рамках данного исследования он определялся с применением математической формулы:

$$MAR = R / E,$$

где  $R$  – количество антибиотиков, к которым у анализируемого штамма определяется устойчивость;  $E$  – общее количество антибиотиков, устойчивость к которым оценивалась для данного конкретного штамма. Наше исследование опиралось на концепции моделей устойчивости, описанных А.-Р. Magiorakos et al. [7], которые позволяют определять штаммы с МЛУ, обладающие устойчивостью как минимум к одному препарату из того или иного класса антибиотиков.

Индексирование множественной лекарственной устойчивости является еще одним эффективным способом отслеживания источника бактерий [8]. Значение индекса МЛУ выше 0,2 указывает на источник бактериального заражения с высоким уровнем риска, который характеризуется частым применением антибиотиков [9].

Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи прикладного пакета SPSS для Windows, версия 26.0. Для описания характеристик выборки исследования и ключевых переменных рассчитывались показатели описательной статистики.

<sup>1</sup> CLSI – M100. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing, 32nd ed. – USA: Clinical and Laboratory Standards Institute, 2022. – 362 p.

Для описания категориальных переменных применялись частота и доли, для непрерывных переменных – измерение центрального тренда и дисперсии (среднее, медиана, стандартное отклонение). Взаимосвязи между независимыми переменными и переменными исхода изучались при помощи двумерного анализа. Ассоциации между категориальными переменными оценивались при помощи теста хи-квадрат. Значения  $P$  ниже 0,05 принимались как уровень статистической значимости.

**Результаты и их обсуждение.** Из 763 проб, в которых определялось наличие культуры и ее чувствительность, в 410 (53,70 %) не был обнаружен рост, а в 353 пробах (46,30 %) присутствовали признаки роста. 21,52 % (76) проб с положительным результатом на наличие культуры в моче были получены от пациентов мужского пола, а 78,47 % (277) – от пациентов женского пола. Средний возраст участников составил 52,4 г. ( $SD \pm 18,54$ ), все возрастные группы старше 18 лет были довольно равномерно представлены в выборке. 69,97 % пациентов с симптомами бактериальной инфекции мочевыводящих путей были направлены либо к врачу первичной амбулаторной помощи, либо к специалистам в рамках специализированной амбулаторной помощи. Остальные участники (30,02 %) обратились на прием к соответствующему врачу. 46,74 % ( $n = 165$ ) пациентов с высокими уровнями бактерий в моче и жалобами на симптомы со стороны мочевыводящих путей, сдали стерильный анализ мочи для микробиологического исследования до постановки диагноза врачом. Цистит и хронический тубулоинтерстициальный нефрит указывались как наиболее распространенные диагнозы (22,94 % ( $n = 81$ )) на основе международной классификации болезней, примененные как обоснование для проведения микробиологических тестов. Почечнокаменная болезнь и анализы мочи в период беременности были следующими по частоте состояниями, при которых в моче определялось наличие бактерий (3,96 %).

Уровни лекарственной устойчивости были определены для шести грамотрицательных бактерий и одной грамположительной. Наиболее часто в выборке идентифицировался уропатоген *Escherichia coli* (52,97 %). Анализ лекарственной устойчивости штаммов *Escherichia coli* выявил устойчивость по меньшей мере к трем антибиотикам из трех различных классов в 55 случаях (29,41 %). Значения индекса МЛУ для анализируемых штаммов колебались в пределах от 0,07 до 1,0 со средним значением 0,166. 60 % штаммов данной грамотрицательной палочки, идентифицированной в моче, со значением индекса МЛУ выше 0,2 были обнаружены у женщин (рисунк).

*Enterococcus faecalis* был вторым по распространенности микроорганизмом, обнаруженным у пациентов, находящихся на амбулаторном лечении, с высокой бактериурией (16,99 % (60)). Все проанализированные штаммы данной грамположительной бактерии, а также штаммы *Enterobacter* и *Pseudomonas aeruginosa* имели значения индекса МЛУ выше 0,2. Третьим по частоте встречаемости в изучаемой выборке стал штамм *Klebsiella pneumoniae* (12,46 % (44)). Средние значения индекса МЛУ для *Klebsiella pneumoniae* составили 0,336 и выше, а более половины бактериальных штаммов (56,81 %) имели значения индекса МЛУ = 0,2. Несмотря на малое количество штаммов *Proteus mirabilis* (10) в выборке, общая лекарственная устойчивость была обнаружена для семи из них.

Штаммы *E. coli* с МЛУ демонстрировали ярко выраженную устойчивость к фторхинолонам, аминопенициллинам и цефалоспорином, но при этом обладали высоким уровнем восприимчивости к карбапенемам, фосфомицину и нитроксалину, как показано в табл. 1.

Стопроцентная устойчивость к аминопеницилинам в сочетании с ингибиторами бета-лактамазы и 92 % -ная устойчивость к цефалоспорином второго поколения были определены для штаммов *Klebsiella pneumoniae* с МЛУ (табл. 2).

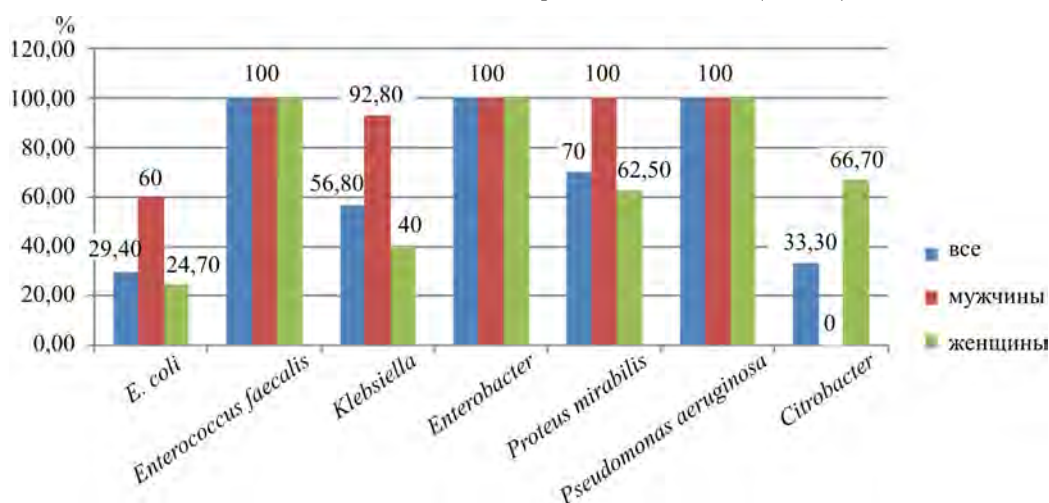


Рис. Распределение штаммов бактерий с индексом МЛУ > 0,2 среди амбулаторных пациентов



Таблица 1

Восприимчивость *E. coli* к антибиотикам

Антибиотик	Общее число штаммов, n = 187				Штаммы с МЛУ, n = 55			
	Восприимчив		Устойчив		Восприимчив		Устойчив	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Ципрофлоксацин	144	77	43	23	15	27,3	40	72,7
Левифлоксацин	144	77	43	23	15	27,3	40	72,7
Амикацин	168	89,8	19	10,2	37	67,3	18	32,7
Цефуроксим	156	83,4	31	16,6	24	43,6	31	56,4
Цефтазидим	162	86,6	25	12,8	30	54,5	25	45,5
Ампициллин / сульбактам	149	79,7	38	20,3	18	32,7	37	67,3
Амоксициллин / клавулановая кислота	149	79,7	38	20,3	18	32,7	37	67,3
Нитроксилин	169	90,4	18	9,1	45	81,8	10	18,2
Меропенем	181	96,8	6	3,2	48	87,3	7	12,7
Фосфомицин	179	95,7	8	4,3	47	85,5	8	14,5
Триметоприм / сульфаметоксазол	120	64,1	67	35,8	18	32,7	37	67,2

Таблица 2

Восприимчивость *Klebsiella pneumoniae* к антибиотикам

Антибиотик	Общее число штаммов, n = 44				Штаммы с МЛУ, n = 25			
	Восприимчив		Устойчив		Восприимчив		Устойчив	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Ципрофлоксацин	30	68,2	14	31,8	12	48	13	52
Левифлоксацин	31	70,5	13	29,5	12	48	13	52
Амикацин	40	90,9	4	9,1	21	84	4	16
Цефуроксим	21	47,7	23	52,3	2	8	23	92
Цефтазидим	29	65,9	15	34,1	10	40	15	60
Ампициллин / сульбактам	19	43,2	25	56,8	0	0	25	100
Амоксициллин / клавулановая кислота	19	43,2	25	56,8	0	0	25	100
Нитроксилин	37	84,1	7	15,9	18	72	7	28
Меропенем	39	88,6	5	11,4	20	80	5	20
Фосфомицин	22	50	22	50	10	40	15	60
Триметоприм / сульфаметоксазол	24	54,5	20	45,5	10	40	15	60

Меропенем и амикацин являются антибиотиками, восприимчивость к которым у *Klebsiella* и двух других представителей семейства *Enterobacteriaceae*, а именно *Enterobacter* и *Pseudomonas aeruginosa*, достигает 80 % или даже 100 %. Для *Enterococcus faecalis*, *Enterobacter* и *Pseudomonas aeruginosa* были определены уровни в 100 % устойчивости к цефалоспорином второго поколения.

Эти три вида бактерий являются лидерами с заявленной стопроцентной или очень высокой устойчивостью к антибиотику триметоприм сульфаметоксазолу, широко применяемому при оказании первичной и специализированной медицинской помощи. В то время как абсолютная устойчивость к аминопенициллинам была определена у штаммов *Enterobacter spp.* и *Pseudomonas aeruginosa* с МЛУ (100 %), штаммы *Enterococcus faecalis* продемонстрировали высокие уровни восприимчивости к данным антибиотикам (98,3 %).

Число других идентифицированных штаммов, принадлежащих к семейству *Enterobacteriaceae*, было незначительным и непредставительным для расчета индекса МЛУ и определения уровней лекарственной устойчивости в рамках данного исследования.

Бактериальные инфекции мочевыводящих путей составляют 80 % внебольничных инфекций [10]. Это определяет высокую частоту применения антибиотиков для их лечения в амбулаторных условиях. Чрезмерное применение антимикробных препаратов, их поспешное и необоснованное предписание вместе с существующими регулирующими барьерами создали условия, в которых некоторые бактерии развили способность активно размножаться в антибактериальной медицинской среде, что приводит к возникновению «лекарственной устойчивости». Проблема возрастает и становится все более угрожающей вследствие недостатка новых, альтернативных классов антибиотиков, которые пока еще находятся в процессе разработки или на этапе клинических испытаний эффективности. Данные научных исследований и эпидемиологических изысканий, проведенных в различных организациях здравоохранения в разных странах и регионах, подтверждают существование микроорганизмов с множественной лекарственной устойчивостью, вызывающих инфекции мочевыводящих путей, которые плохо поддаются лечению антибиотиками. В некоторых случаях применяемая антибактериальная терапия на

основе антибиотиков является неадекватной и неэффективной, что приводит к неблагоприятному исходу заболевания именно потому, что обнаруженные уропатогены сохраняют восприимчивость только к потенциально более токсичным антибиотикам и остаются устойчивыми ко всем остальным. Инфекции мочевыводящих путей и пиелонефрит занимают четвертое место в общем бремени заболеваний, связанных и вызываемых лекарственной устойчивостью в 2019 г. [11]. Микроорганизмы с множественной лекарственной устойчивостью являются причиной рецидивных инфекций, возникающих, несмотря на адекватное лечение, перехода патологических процессов в хроническое состояние и прочих осложнений. Осложненными инфекциями считаются все инфекции мочевыводящих путей у пациентов с ослабленным иммунитетом, у пациентов мужского пола, беременных женщин; инфекции, связанные с повышением температуры, почечнокаменной болезнью и мочекаменной болезнью; инфекции, вызывающие непроходимость мочевых путей и требующие введения катетера; инфекции, воздействующие на почки. Осложненные инфекции мочевыводящих путей, как правило, вызывает гораздо более широкий спектр микроорганизмов, связанный с возрастающей множественной лекарственной устойчивостью [12]. Порочный круг рецидивирующих инфекций мочевыводящих путей и лекарственной устойчивости приводит к возникновению уросепсиса, который может стать фатальным для пациента [13]. *E. coli*, *Klebsiella pneumoniae* и *Pseudomonas aeruginosa* – патогены, которые являются причиной значительного числа смертей, связанных с МЛУ, согласно публикациям в журнале Lancet. Помимо этого, следует отметить, что в 2019 г. наибольшее число смертельных случаев, связанных с МЛУ, были вызваны *E. coli* [11]. Согласно отчету ВОЗ, устойчивость к фторхинолонам и антибиотикам на основе бета-лактамазы, таким как карбапенемы, цефалоспорины и пенициллины, часто применяемым в качестве первого средства при лечении тяжелых инфекций, стала причиной более 70 % смертей, вызванных МЛУ у разных патогенов [14].

В данном исследовании анализ мочи значительной части пациентов, находящихся на амбулаторном лечении, включенных в выборку, дал положительный результат на наличие бактерий (353, или 46,26 %). Это подтверждает высокую распространенность внебольничных инфекций мочевыводящих путей в амбулаторных клиниках, особенно в странах с низким уровнем развития экономики. Почти половина пациентов с симптомами инфекций мочевыводящих путей наблюдались у врача без постановки рабочего диагноза (46,74 %). Острый или неспецифический цистит (N30.0 и N30.9), а также хрониче-

ский тубулоинтерстициальный нефрит (N11.9 и N11.8) были наиболее часто установленными рабочими диагнозами в соответствии с Международной классификацией болезней для пациентов с подтвержденным наличием бактерий в моче на основании микробиологического тестирования. Значительная бактериурия во время беременности или обострения почечнокаменной болезни были идентифицированы у 14 пациентов (3,96 %). Пациенты женского пола являются основной группой риска бактериальных инфекций мочевыводящих путей в силу анатомических особенностей женского организма и других факторов риска [15]. В выборке данного исследования значительная бактериурия была выявлена у 78,47 % исследованных женщин. Наиболее часто в моче определялись три штамма: *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* и *Klebsiella pneumoniae*. Метод индексирования МЛУ, примененный в рамках данного исследования, является эффективным, быстрым, легким, не требует использования специализированного обучения или дорогого оборудования [9].

Число штаммов *E. coli* с МЛУ, преобладающих в выборке, составило 55 (29,41 %). Сравнительный анализ данных теста на восприимчивость к антибиотикам общего количества штаммов *E. coli* и данных о штаммах с индексом МЛУ выше 0,2 подтвердил высокую восприимчивость грамотрицательной палочки к карбапенемам, фосфомицину и нитроксолину. Растущая устойчивость *E. coli* к фторхинолонам и аминопенициллинам в сочетании с ингибитором бета-лактамазы как широко рекомендуемым антибиотикам, часто назначаемым в клинической практике, становится еще более очевидной в штаммах с индексом МЛУ выше 0,2. В 2021 г. устойчивость *E. coli* к фторхинолонам была наиболее высокой в южной и восточной частях Европы, а обнаруженный уровень этой устойчивости в Болгарии составлял 33,5 %, по данным последнего отчета Европейского центра по контролю над заболеваниями и ВОЗ<sup>2</sup>. Согласно A. Kebbeh et al., данный класс антибиотиков следует применять с осторожностью и только в тех случаях, когда подтверждена восприимчивость уропатогена к данному препарату [16].

Следует отметить, что значительное число штаммов *E. coli* и *Klebsiella pneumoniae* демонстрируют выраженную тенденцию возрастающей устойчивости к цефалоспорином второго и третьего поколения. Наше исследование подтверждает наблюдаемую растущую устойчивость штаммов *Klebsiella pneumoniae* к третьему поколению цефалоспоринов в европейских популяциях. Это говорит о нежелательности применения обсуждаемого антибиотика в практическом лечении инфекций мочевыводящих путей в амбулаторных условиях. Стопроцентная устойчивость к аминопенициллинам с ингибитором

<sup>2</sup> Antimicrobial resistance surveillance in Europe 2023–2021 data: Technical document. – Stockholm: European Centre for Disease Prevention and Control and World Health Organization, 2023. – 154 p.

бета-лактамазы была обнаружена у штаммов *Klebsiella pneumoniae* с МЛУ. Согласно данным I.L. Miftoide et al., длительная и зачастую неоправданная экспозиция штаммов *Klebsiella* различными бета-лактамами антибиотиками создала предпосылки для динамических генных мутаций и усиленного синтеза бета-лактамаз [17]. Это приводит к появлению более широкого спектра грамотрицательных бактерий, вырабатывающих бета-лактамазу, а также обладающих множественной лекарственной устойчивостью к другим доступным антибиотикам, в особенности к цефалоспорином [18].

Результаты анализа множественной лекарственной устойчивости штаммов *Enterococcus faecalis*, *Enterobacter species* и *Pseudomonas aeruginosa* также вызывают тревогу. Все представители вышеперечисленных видов бактерий обладали значениями индекса МЛУ выше 0,2, а также значительной или даже стопроцентной устойчивостью к некоторым антибиотикам, широко применяемым в амбулаторном лечении. Например, штаммы *Pseudomonas aeruginosa* с МЛУ показали неожиданно высокую устойчивость (почти 100 %) к шести группам антибиотиков: фторхинолонам, аминопенициллинам, цефалоспорином второго и третьего поколения, контроксолину, фосфомицину и триметоприм сульфаметоксазолу. Несмотря на небольшое количество обнаруженных штаммов *Enterobacter* и *Proteus*, тревогу вызывает обнаруженная у них устойчивость от 50 до 100 % к таким антибиотикам, как аминопенициллины, цефалоспорины второго поколения и триметоприм сульфаметоксазол. Наше исследование показало, что представители семейства *Enterobacteriaceae* – *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterobacter* spp. обладают высокой восприимчивостью только к двум классам антибиотиков – карбапенемам и аминогликозидам. Данная наблюдаемая множественная лекарственная устойчивость исследованных уропатогенов к антибиотикам, назначаемым перорально, значительно сокращает возможности выбора в рамках амбулаторного лечения, а также проливает дополнительный свет на выбор антимикробного препарата в первоначальной терапии.

Возрастающая распространенность *Enterococcus faecalis* с МЛУ создает еще более серьезные проблемы в борьбе с инфекциями мочевыводящих путей. Штаммы *Enterococcus faecalis* с МЛУ обладали устойчивостью к пяти классам антибиотиков – тетрациклинам, второму и третьему поколению цефалоспоринов, триметоприм сульфаметоксазолу, нитроксилину и аминогликозидам; уровни данной устойчивости колебались в пределах 98–100 %. Способность видов *Enterococci* быстро распространяться в медицинской среде и приобретать дополнительную устойчивость путем переноса плазмид и транспозонов дает основание отнести их к категории патогенов, представляющих огромную угрозу для системы здравоохранения [19].

Растущие уровни заболеваемости и увеличивающееся разнообразие штаммов уропатогенов с множественной лекарственной устойчивостью становятся все более серьезной проблемой для амбулаторий. Расчет индекса МЛУ изолированных штаммов дает возможность определить риск неэффективности лечения инфекций мочевыводящих путей. Значения индекса МЛУ, превышающие 0,2, означают значительно возрастающую вероятность развития хронической формы заболевания в результате некорректного выбора лекарственной терапии. Данные микроорганизмы с высоким значением индекса МЛУ зачастую не реагируют на стандартное антибактериальное лечение, что приводит к затяжному течению заболевания и вызывает осложнения, как показывают результаты нашего исследования. По мере роста частоты обнаружения штаммов со значениями индекса МЛУ выше 0,2 отмечается рост числа случаев ИМП с нежелательным негативным исходом заболевания. Некоторые обстоятельства и человеческий фактор внесли свой вклад в рост числа штаммов с МЛУ. Среди них следует упомянуть высокие уровни потребления антибиотиков и выбор препаратов под влиянием фармацевтического маркетинга, недостаток актуальной информации о восприимчивости патогенов к антибиотикам в разных географических регионах и областях, а также намеренное применение антибиотиков пациентами в рамках самолечения [20]. Следовательно, контроль над применением антибиотиков остается ключевой стратегией в большинстве национальных и международных программ управления МЛУ. Большинство вмешательств, призванных решить проблему МЛУ микроорганизмов, на которые полагается ВОЗ, основаны на принципах контроля и предотвращения инфекций, а также минимизации применения антибиотиков в тех случаях, когда они не являются необходимым средством улучшения здоровья. Необходимым является также создание инфраструктуры для быстрой и точной диагностики инфекций, что будет наиболее важным условием применения лечения антибиотиками [14].

**Выводы.** Штаммы уропатогенов, обнаруженные в моче пациентов с высокой бактериурией, продемонстрировали чрезвычайно высокие уровни множественной лекарственной устойчивости к антибиотикам, широко распространенным в амбулаторной практике. На основе расчета индекса множественной лекарственной устойчивости в нашем исследовании подчеркивается значимость данной проблемы. Инфекции мочевыводящих путей, вызываемые устойчивыми штаммами, плохо поддаются лечению, что создает дополнительные проблемы и приводит к росту затрат как для пациентов, так и для системы здравоохранения. Мониторинг лекарственной устойчивости патогенов, обнаруженных в анализах мочи, а в особенности частоты выявления патогенов с высокими значениями индекса МЛУ, является необходимым усло-

вию контроля их распространения и внедрения разумного и доказательного применения антибиотиков в клиническую практику.

**Ограничения исследования.** Ограничения данного исследования, которые следует упомянуть, в основном связаны с размером выборки и числом представителей некоторых видов бактерий, вызывающих инфекции мочевыводящих путей. Это определяет необходимость проведения исследования на большей и более репрезентативной выборке с обнаруженными более редкими штаммами уропатогенов, для которых необходимо верифицировать значения индекса МЛУ. Однако тенденция к росту распространенности грамотрицательных и грамположительных бактерий с высокими значениями индекса МЛУ является очевидной, и результаты данного исследования подтверждают необходимость внедрения механизмов адекватного и разумного применения антибиотиков в амбулаторных условиях.

**Соответствие этическим стандартам.** Этические стандарты (включая плагиат, информированное согласие, ненадлежащее поведение, фальсификацию данных, двойную публикацию и т.д.) полностью соблюдены авторами данной статьи. Исследование с участием пациентов проводилось в полном соответствии с требованиями Хельсинкской декларации по этике биомедицинских исследований. Любая информация о пациентах и результатах клинических лабораторных тестов строго конфиденциальна. Исследование было одобрено советом департамента здравоохранения.

**Финансирование.** Данное исследование не получило никакой специализированной финансовой поддержки организаций государственного, коммерческого или некоммерческого сектора.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов в связи с проведением данного исследования, а также авторства и / или публикации данной статьи.

### Список литературы

1. WHO report on surveillance of antibiotic consumption: 2016–2018 early implementation [Электронный ресурс] // WHO. – 2019. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/who-report-on-surveillance-of-antibiotic-consumption> (дата обращения: 20.06.2023).
2. Sachdev C., Anjankar A., Agrawal J. Self-Medication With Antibiotics: An Element Increasing Resistance // *Cureus*. – 2022. – Vol. 14, № 10. – P. e30844. DOI: 10.7759/cureus.30844
3. Antimicrobial Resistance: A Growing Serious Threat for Global Public Health / M.A. Salam, M.Y. Al-Amin, M.T. Salam, J.S. Pawar, N. Akhter, A.A. Rabaan, M.A.A. Alqumber // *Healthcare (Basel)*. – 2023. – Vol. 11, № 13. – P. 1946. DOI: 10.3390/healthcare11131946
4. Baran A., Kwiatkowska A., Potocki L. Antibiotics and Bacterial Resistance – A Short Story of an Endless Arms Race // *Int. J. Mol. Sci.* – 2023. – Vol. 24, № 6. – P. 5777. DOI: 10.3390/ijms24065777
5. Munita J.M., Arias C.A. Mechanisms of Antibiotic Resistance // *Microbiol. Spectr.* – 2016. – Vol. 4, № 2. DOI: 10.1128/microbiolspec.VMBF-0016-2015
6. Antibiotic resistance: The challenges and some emerging strategies for tackling a global menace / D. Chinemerem Nwobodo, M.C. Ugwu, C. Oliseloke Anie, M.T.S. Al-Ouqaili, J. Chinedu Ikem, U.V. Chigozie, M. Saki // *J. Clin. Lab. Anal.* – 2022. – Vol. 36, № 9. – P. e24655. DOI: 10.1002/jcla.24655
7. Multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant bacteria: an international expert proposal for interim standard definitions for acquired resistance / A.-P. Magiorakos, A. Srinivasan, R.B. Carey, Y. Carmeli, M.E. Falagas, C.G. Giske, S. Harbarth, J.F. Hindler [et al.] // *Clin. Microbiol. Infect.* – 2012. – Vol. 18, № 3. – P. 268–281. DOI: 10.1111/j.1469-0691.2011.03570.x
8. Sandhu R., Dahiya S., Sayal P. Evaluation of multiple antibiotic resistance (MAR) index and Doxycycline susceptibility of *Acinetobacter* species among inpatients // *Indian J. Microbiol. Res.* – 2016. – Vol. 3, № 3. – P. 299–304. DOI: 10.5958/2394-5478.2016.00064.9
9. Osundiya O.O., Oladele R.O., Oduyebo O.O. Multiple Antibiotic Resistance (MAR) Indices of *Pseudomonas* and *Klebsiella* species isolates in Lagos University Teaching Hospital // *Afr. J. Clin. Exper. Microbiol.* – 2013. – Vol. 14, № 3. – P. 164–168. DOI: 10.4314/ajcem.v14i3.8
10. Assessment of Bacterial Isolates from the Urine Specimens of Urinary Tract Infected Patient / C.M.M. Prasada Rao, T. Vennila, S. Kosanam, P. Ponsudha, K. Suriyakrishna, A.A. Alarfaj, A.H. Hirad, S.R. Sundaram [et al.] // *Biomed. Res. Int.* – 2022. – Vol. 2022. – P. 4088187. DOI: 10.1155/2022/4088187
11. Antimicrobial Resistance Collaborators. Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis // *Lancet*. – 2022. – Vol. 399, № 10325. – P. 629–655. DOI: 10.1016/S0140-6736(21)02724-0
12. Sabih A., Leslie S.W. Complicated Urinary Tract Infections // In book: *StatPearls*. – Treasure Island (FL): StatPearls Publ., 2023.
13. Klein R.D., Hultgren S.J. Urinary tract infections: microbial pathogenesis, host-pathogen interactions and new treatment strategies // *Nat. Rev. Microbiol.* – 2020. – Vol. 18, № 4. – P. 211–226. DOI: 10.1038/s41579-020-0324-0
14. The selection and use of essential medicines (2017): report of the WHO Expert Committee (including the 20th WHO Model List of Essential Medicines and the 6th WHO Model List of Essential Medicines for Children). – Geneva: World Health Organization, 2017.
15. Czajkowski K., Broś-Konopielko M., Teliga-Czajkowska J. Urinary tract infection in women // *Prz. Menopauzalny*. – 2021. – Vol. 20, № 1. – P. 40–47. DOI: 10.5114/pm.2021.105382

16. Antibiotics susceptibility patterns of uropathogenic bacteria: a cross-sectional analytic study at Kanifing General Hospital, The Gambia / A. Kebbeh, P. Dsane-Aidoo, K. Sanyang, S.M.K. Darboe, N. Fofana, D. Ameme, A.M. Sanyang, K.S. Darboe [et al.] // BMC Infect. Dis. – 2023. – Vol. 23, № 1. – P. 723. DOI: 10.1186/s12879-023-08373-y
17. Insights into multidrug-resistant *K. pneumoniae* urinary tract infections: From susceptibility to mortality / I.L. Miftode, E.V. Nastase, R.-Ş. Miftode, E.G. Miftode, L.S. Iancu, C. Luncă, D.-T. Anton Păduraru, I.-I. Costache [et al.] // Exp. Ther. Med. – 2021. – Vol. 22, № 4. – P. 1086. DOI: 10.3892/etm.2021.10520
18. Mazzariol A., Bazaj A., Cornaglia G. Multi-drug-resistant gram-negative bacteria causing urinary tract infections: a review // J. Chemother. – 2017. – Vol. 29, Suppl. 1. – P. 2–9. DOI: 10.1080/1120009X.2017.1380395
19. Genomic analysis of multidrug-resistant clinical *Enterococcus faecalis* isolates for antimicrobial resistance genes and virulence factors from the western region of Saudi Arabia / M. Farman, M. Yasir, R.R. Al-Hindi, S.A. Farraj, A.A. Jiman-Fatani, M. Alawi, E.I. Azhar // Antimicrob. Resist. Infect. Control. – 2019. – Vol. 8. – P. 55. DOI: 10.1186/s13756-019-0508-4
20. Etiological Agents of Urinary Tract Infection and 7 Years Trend of Antibiotic Resistance of Bacterial Uropathogens in Sudan / D. Saad, S. Gameel, S. Ahmed, E. Basha, M. Osman, E. Khalil // The Open Microbiology Journal. – 2020. – Vol. 14. – P. 312–320. DOI: 10.2174/1874434602014010312.

Алекова С., Койчева Р. Множественная лекарственная устойчивость уропатогенов как фактор риска при оказании медицинской помощи (опыт центральной Болгарии) // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 132–140. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.12

UDC 616.08; 616.6

DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.12.eng



Research article

## MULTIDRUG RESISTANCE OF UROPATHOGENS AS A RISK FACTOR IN PROVIDING MEDICAL CARE TO PATIENTS FROM CENTRAL BULGARIA

S. Alekova, R. Koycheva

Trakia University, 11 Armeiska St., Stara Zagora, 6000, Bulgaria

*The emergence of resistance to multiple antimicrobial agents in uropathogenic bacteria has become a significant public health problem. These microorganisms are the cause of urinary tract infections, which are among the most frequently treated diseases in the outpatient medical care.*

*A cross-sectional study was conducted among 353 outpatients over 18 years of age with positive urine sample culture. It involved measuring the index of multiple antibiotic resistance of uropathogens causing infections among individuals. The research was conducted in the period January – June 2023 at a private clinical laboratory center located in Stara Zagora, Bulgaria.*

*One third of the isolates of *E. coli* and more than a half of those of *Klebsiella pneumoniae* had a measured MAR index greater than 0.2, with confirmatory high rates of resistance to aminopenicillins and cephalosporins. Alarming high MARI values were measured in all representatives of *Enterococcus faecalis*, *Enterobacter* species and *Pseudomonas aeruginosa*. These strains were also established to have high levels of resistance (varying from 58.3 to 100 %) to some of antimicrobial medicines most commonly prescribed in the outpatient healthcare.*

*Findings of this study emphasize the importance and seriousness of the existing problem with the increasing prevalence of uropathogenic microorganisms with multiple resistance to oral antibiotics. This creates elevated risks of failure to provide effective treatment for patients.*

**Keywords:** urinary tract infections, bacterial microorganisms, multiple antibiotic resistance index, uropathogens, antimicrobial medicines, risk factor.

© Alekova S., Koycheva R., 2024

**Sevdalina Alekova Todorova** – MD, PhD, Chief Assistant of the Department of Internal Diseases and General Medicine, Faculty of Medicine (e-mail: sevdalina.alekova@abv.bg; tel.: +359 896-610-001; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0443-5891>).

**Reneta Koycheva** – MD, PhD, Chief Assistant of the Department of Internal Diseases and General Medicine, Faculty of Medicine (e-mail: koychevar@abv.bg; tel.: +359 888-990-135).

## References

1. WHO report on surveillance of antibiotic consumption: 2016–2018 early implementation. *WHO*, 2019. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/who-report-on-surveillance-of-antibiotic-consumption> (June 20, 2023).
2. Sachdev C., Anjankar A., Agrawal J. Self-Medication With Antibiotics: An Element Increasing Resistance. *Cureus*, 2022, vol. 14, no. 10, pp. e30844. DOI: 10.7759/cureus.30844
3. Salam M.A., Al-Amin M.Y., Salam M.T., Pawar J.S., Akhter N., Rabaan A.A., Alqumber M.A.A. Antimicrobial Resistance: A Growing Serious Threat for Global Public Health. *Healthcare (Basel)*, 2023, vol. 11, no. 13, pp. 1946. DOI: 10.3390/healthcare11131946
4. Baran A., Kwiatkowska A., Potocki L. Antibiotics and Bacterial Resistance – A Short Story of an Endless Arms Race. *Int. J. Mol. Sci.*, 2023, vol. 24, no. 6, pp. 5777. DOI: 10.3390/ijms24065777
5. Munita J.M., Arias C.A. Mechanisms of Antibiotic Resistance. *Microbiol. Spectr.*, 2016, vol. 4, no. 2. DOI: 10.1128/microbiolspec.VMBF-0016-2015
6. Chinemerem Nwobodo D., Ugwu M.C., Oliseloke Anie C., Al-Ouqaili M.T.S., Chinedu Ikem J., Chigozie U.V., Saki M. Antibiotic resistance: The challenges and some emerging strategies for tackling a global menace. *J. Clin. Lab. Anal.*, 2022, vol. 36, no. 9, pp. e24655. DOI: 10.1002/jcla.24655
7. Magiorakos A.-P., Srinivasan A., Carey R.B., Carmeli Y., Falagas M.E., Giske C.G., Harbarth S., Hindler J.F. [et al.]. Multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant bacteria: an international expert proposal for interim standard definitions for acquired resistance. *Clin. Microbiol. Infect.*, 2012, vol. 18, no. 3, pp. 268–281. DOI: 10.1111/j.1469-0691.2011.03570.x
8. Sandhu R., Dahiya S., Sayal P. Evaluation of multiple antibiotic resistance (MAR) index and Doxycycline susceptibility of *Acinetobacter* species among inpatients. *Indian J. Microbiol. Res.*, 2016, vol. 3, no. 3, pp. 299–304. DOI: 10.5958/2394-5478.2016.00064.9
9. Osundiya O.O., Oladele R.O., Oduyebo O.O. Multiple Antibiotic Resistance (MAR) Indices of *Pseudomonas* and *Klebsiella* species isolates in Lagos University Teaching Hospital. *Afr. J. Clin. Exper. Microbiol.*, 2013, vol. 14, no. 3, pp. 164–168. DOI: 10.4314/ajcem.v14i3.8
10. Prasada Rao C.M.M., Vennila T., Kosanam S., Ponsudha P., Suriyakrishna K., Alarfaj A.A., Hirad A.H., Sundaram S.R. [et al.]. Assessment of Bacterial Isolates from the Urine Specimens of Urinary Tract Infected Patient. *Biomed. Res. Int.*, 2022, vol. 2022, pp. 4088187. DOI: 10.1155/2022/4088187
11. Antimicrobial Resistance Collaborators. Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *Lancet*, 2022, vol. 399, no. 10325, pp. 629–655. DOI: 10.1016/S0140-6736(21)02724-0
12. Sabih A., Leslie S.W. Complicated Urinary Tract Infections. In book: *StatPearls*. Treasure Island (FL), StatPearls Publ., 2023.
13. Klein R.D., Hultgren S.J. Urinary tract infections: microbial pathogenesis, host-pathogen interactions and new treatment strategies. *Nat. Rev. Microbiol.*, 2020, vol. 18, no. 4, pp. 211–226. DOI: 10.1038/s41579-020-0324-0
14. The selection and use of essential medicines (2017): report of the WHO Expert Committee (including the 20th WHO Model List of Essential Medicines and the 6th WHO Model List of Essential Medicines for Children). Geneva, World Health Organization, 2017.
15. Czajkowski K., Broś-Konopielko M., Teliga-Czajkowska J. Urinary tract infection in women. *Prz. Menopauzalny*, 2021, vol. 20, no. 1, pp. 40–47. DOI: 10.5114/pm.2021.105382
16. Kebbeh A., Dsane-Aidoo P., Sanyang K., Darboe S.M.K., Fofana N., Ameme D., Sanyang A.M., Darboe K.S. [et al.]. Antibiotics susceptibility patterns of uropathogenic bacteria: a cross-sectional analytic study at Kanifing General Hospital, The Gambia. *BMC Infect. Dis.*, 2023, vol. 23, no. 1, pp. 723. DOI: 10.1186/s12879-023-08373-y
17. Miftode I.L., Nastase E.V., Miftode R.-Ş., Miftode E.G., Iancu L.S., Luncă C., Anton Păduraru D.-T., Costache I.-I. [et al.]. Insights into multidrug-resistant *K. pneumoniae* urinary tract infections: From susceptibility to mortality. *Exp. Ther. Med.*, 2021, vol. 22, no. 4, pp. 1086. DOI: 10.3892/etm.2021.10520
18. Mazzariol A., Bazaj A., Cornaglia G. Multi-drug-resistant gram-negative bacteria causing urinary tract infections: a review. *J. Chemother.*, 2017, vol. 29, suppl. 1, pp. 2–9. DOI: 10.1080/1120009X.2017.1380395
19. Farman M., Yasir M., Al-Hindi R.R., Farraj S.A., Jiman-Fatani A.A., Alawi M., Azhar E.I. Genomic analysis of multidrug-resistant clinical *Enterococcus faecalis* isolates for antimicrobial resistance genes and virulence factors from the western region of Saudi Arabia. *Antimicrob. Resist. Infect. Control*, 2019, vol. 8, pp. 55. DOI: 10.1186/s13756-019-0508-4
20. Saad D., Gameel S., Ahmed S., Basha E., Osman M., Khalil E. Etiological Agents of Urinary Tract Infection and 7 Years Trend of Antibiotic Resistance of Bacterial Uropathogens in Sudan. *The Open Microbiology Journal*, 2020, vol. 14, pp. 312–320. DOI: 10.2174/1874434602014010312

Alekova S., Koycheva R. Multidrug resistance of uropathogens as a risk factor in providing medical care to patients from Central Bulgaria. *Health Risk Analysis*, 2024, no. 2, pp. 132–140. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.12.eng

Получена: 23.04.2024

Одобрена: 31.05.2024

Принята к публикации: 20.06.2024

# МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ РИСКА

УДК 539.3; 532.546; 51-76; 519.6  
DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.13



Научная статья

## ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН ЛОКАЛИЗАЦИИ РИСКА РАЗВИТИЯ БРОНХОЛЕГОЧНОЙ ПАТОЛОГИИ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗДУШНО-ПЫЛЕВЫХ ПОТОКОВ В ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЯХ И ЛЕГКИХ ЧЕЛОВЕКА

П.В. Трусов<sup>1,2</sup>, М.Ю. Цинкер<sup>1,2</sup>, Н.В. Зайцева<sup>1,3</sup>, В.В. Нурисламов<sup>1,2</sup>,  
П.Д. Свинцова<sup>2</sup>, А.И. Кучуков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Российская Федерация, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

<sup>2</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Российская Федерация, 614990, г. Пермь, ул. Комсомольский проспект, 29

<sup>3</sup>Отделение медицинских наук Российской академии наук, Российская Федерация, 109240, г. Москва, ул. Солянка, 14

*Работа посвящена развитию разрабатываемой авторами математической модели дыхательной системы, а также вопросам ее практического применения для решения задач в области оценки и прогнозирования рисков здоровью человека, обусловленных негативным действием аэрогенных факторов среды обитания. Математическая модель включает в себя подмодели течения воздушной смеси в воздухопроводящей зоне (включающей в себя носовую полость, глотку, гортань, трахею и 5 генераций бронхов) и легких, аппроксимированных сплошной двухфазной упругодеформируемой пористой средой. Математическая модель описывается соотношениями механики сплошных сред. Реализация модели выполняется численно с использованием инженерного программного пакета (для исследования процессов в воздухоносных путях) и собственного разработанного комплекса программ (для моделирования процессов в легких). Численное моделирование нестационарного течения воздушно-пылевой смеси выполняется для персонализированной трехмерной геометрии дыхательной системы человека, восстановленной на основе томографических снимков.*

© Трусов П.В., Цинкер М.Ю., Зайцева Н.В., Нурисламов В.В., Свинцова П.Д., Кучуков А.И., 2024

**Трусов Петр Валентинович** – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела математического моделирования; заведующий кафедрой математического моделирования систем и процессов (e-mail: [tpv@matmod.pstu.ac.ru](mailto:tpv@matmod.pstu.ac.ru); тел.: 8 (342) 239-16-07; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8997-5493>).

**Цинкер Михаил Юрьевич** – младший научный сотрудник отдела математического моделирования систем и процессов; младший научный сотрудник кафедры математического моделирования систем и процессов (e-mail: [cinkerm@fcrisk.ru](mailto:cinkerm@fcrisk.ru); тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2639-5368>).

**Зайцева Нина Владимировна** – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель (e-mail: [znv@fcrisk.ru](mailto:znv@fcrisk.ru); тел.: 8 (342) 237-25-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

**Нурисламов Владислав Владимирович** – программист отдела математического моделирования систем и процессов; студент кафедры математического моделирования систем и процессов (e-mail: [maixrock3@gmail.com](mailto:maixrock3@gmail.com); тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6206-8047>).

**Свинцова Полина Денисовна** – студент кафедры математического моделирования систем и процессов (e-mail: [appolinaryasd@gmail.com](mailto:appolinaryasd@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3010-1224>).

**Кучуков Артур Ильдарович** – студент кафедры математического моделирования систем и процессов (e-mail: [akuchukov01@yandex.ru](mailto:akuchukov01@yandex.ru); ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0330-245X>).



*Представлены расчетные линии тока скорости частиц вдыхаемого воздуха в воздухоносных путях. Получены количественные оценки доли осевших частиц диаметром 10 мкм, 2,5 мкм, 1 мкм ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$ ) в воздухоносных путях; приведены траектории движения взвешенных частиц. По мере уменьшения размера и массы частиц доля осевших частиц в воздухоносных путях уменьшается, достигающих легких – увеличивается. Согласно результатам численного моделирования большая часть (более 95 %) крупных частиц ( $PM_{10}$ ) оседает в носовой полости, глотке, гортани; мелкие частицы способны достигать нижних дыхательных путей и бронхов (основная часть частиц, достигающих легких, попадает в нижние долевые бронхи преимущественно правого легкого). Зоны локализации максимальных рисков в легких человека, определенные на основе оценок изменения массы воздушной фазы в процессе дыхательного цикла, наблюдаются в нижних отделах легких. Контактывая со стенками, частицы способны оседать, накапливаться со временем, обладая раздражающим, токсичным, фиброгенным действием, и являются причиной возникновения и / или обострения патологических состояний.*

**Ключевые слова:** математическая модель, дыхательная система, воздушно-пылевая смесь, оседание взвешенных частиц, зоны локализации рисков, здоровье человека, численное моделирование, персонализированная модель.

В современных отечественных и зарубежных научных публикациях приводятся многочисленные доказательства негативного влияния загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами и взвешенными пылевыми частицами разного дисперсного и компонентного состава на состояние здоровья человека<sup>1</sup> [1]. Поступающие ингаляционным способом химические вещества оказывают токсическое действие на органы и системы человеческого организма [2, 3], в том числе на дыхательную систему [4, 5].

Взвешенные вещества в зависимости от размера, состава, формы, места оседания могут являться причиной развития и / или обострения бронхолегочной патологии различной локализации [6, 7]. При этом присутствующие на поверхности частиц химические соединения способны усиливать их агрессивные, токсические и раздражающие свойства [8–13].

Большая часть крупных частиц ( $PM_{10}$  и больше) оседает в слизистой оболочке верхних отделов дыхательных путей, тогда как  $PM_{2.5}$  и частицы наноразмерного диапазона достигают легочных альвеол<sup>2</sup> [14–19]. Мелкие твердые частицы способны преодолевать аэрогематический барьер и проникать в кровеносное русло [20, 21], мигрировать в лимфатические узлы [22, 23]; вместе с током крови и лимфы частицы могут мигрировать к различным органам и тканям [24].

Длительное накопление в легких человека твердых пылевых частиц может приводить к возникновению пневмокониоза<sup>2</sup>, характерной особенностью которого является развитие пневмосклероза. При развитии пневмосклероза происходит разрастание в легких неэластичной соединительной ткани и замещение ею легочной паренхимы, в результате чего нарушается нормальный процесс дыхания, происходит снижение проницаемости легочной тка-

ни для воздуха, уменьшение эффективной площади газообмена, утолщение альвеоларно-капиллярной мембраны.

Существующие лабораторные и инструментальные методы<sup>3</sup> позволяют выполнить комплексное обследование пациента, получить объективную картину текущего состояния здоровья на момент обследования, корректно поставить диагноз и наметить схему лечения. Несмотря на высокую информативность медицинских методов диагностики и их неоценимую пользу для решения широкого круга задач, они не предназначены для выполнения прогнозных оценок состояния здоровья, в том числе для оценки влияния вредных факторов риска здоровью.

В настоящее время перспективной выглядит разработка трехмерных персонализированных моделей, позволяющих детально описывать неоднородные пространственные процессы, протекающие в организме человека [25–30]. Для количественной оценки поступления загрязняющих химических веществ в организм человека из атмосферного воздуха и прогнозирования их последующего влияния на состояние здоровья (в том числе на органы дыхания), а также для описания процесса дыхания в норме и при наличии патологии авторами разрабатывается математическая модель дыхательной системы человека [31].

**Цель исследования** – численное моделирование пространственного распределения воздушно-пылевых потоков и зон локализации максимальных рисков негативных эффектов со стороны органов дыхания человека.

**Материалы и методы.** В разрабатываемой математической модели дыхательная система человека представлена совокупностью недеформируемой воздухопроводящей зоны (изображена синим цветом на рис. 1) и упругодеформируемой респиратор-

<sup>1</sup> WHO global air quality guidelines: Particulate matter ( $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ ), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide / approved by the Guidelines Review Committee. – Geneva: World Health Organization, 2021.

<sup>2</sup> Пневмокониозы: патогенез и биологическая профилактика / Б.А. Кацнельсон, О.Г. Алексеева, Л.И. Привалова, Е.В. Ползик; отв. ред. В.Н. Чуканов. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1995. – 324 с.

<sup>3</sup> Гребенев А.Л. Пропедевтика внутренних болезней: учебник. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 2001. – 592 с.

ной зоны (легкие, содержащие мелкие дыхательные пути и альвеолы, изображены зеленым цветом на рис. 1). Воздухоносные пути включают в себя носовую полость, глотку, гортань, трахею, 5 генераций бронхов (см. рис. 1). Трехмерная геометрия воздухоносных путей и легких была восстановлена на основе обработки данных компьютерной томографии, технология построения представлена в [18, 19]. Выходы из системы бронхов являются входами в легкие; обмен данными между подмоделями осуществляется через граничные условия.

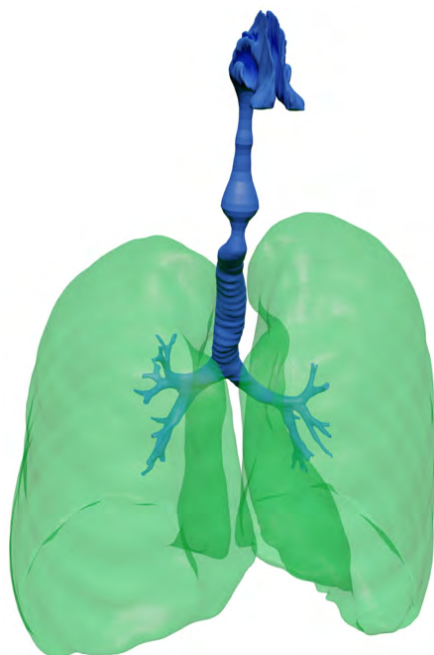


Рис. 1. Модель дыхательной системы, состоящая из воздухопроводящей зоны (изображена синим цветом) и легких (изображены зеленым цветом)

Воздух в общем случае представляет собой многофазную многокомпонентную смесь газов и пылевых частиц различного дисперсного состава. Стенки верхних (и крупных нижних) воздухоносных путей, содержащие хрящевую ткань, которая мешает воздухоносным путям сужаться (и расширяться), полагаются недеформируемыми. Движение воздуха в недеформируемых воздухоносных путях описывается соотношениями механики жидкости и газа, постановка задачи течения воздуха подробно представлена в [18, 19]. На основе представленной постановки были исследованы процессы течения воздуха и оседания пылевых частиц различных размеров в носовой полости [18] и ниж-

них воздухоносных путях (от трахеи до пяти генераций бронхов) [19].

Легкие человека в процессе дыхания испытывают циклические упругие деформации. При этом в легких взрослого человека содержится около 600–700 млн альвеол, а также соединяющих их каналов<sup>4</sup>. Моделирование каждого отдельного канала и альвеол в легких затруднительно. В разрабатываемой математической модели дыхательной системы верхние и крупные нижние воздухоносные пути рассматриваются детально, а легкие человека, образованные мелкими дыхательными путями и альвеолами, с содержащимся в них воздухом моделируются сплошной двухфазной циклически упругодеформируемой насыщенной пористой средой [31]. Первой фазой является легочная ткань, описываемая моделью деформируемого твердого тела, вторая фаза – газ, заполняющий поровое пространство. Относительное движение воздушной фазы в пористой среде легких описывается с привлечением теории фильтрации<sup>5</sup>.

Алгоритм реализации математической модели дыхательной системы, состоящей из подмоделей движения воздуха в воздухоносных путях и легких человека, с учетом обмена данными между подмоделями представляет собой последовательность выполнения следующих этапов.

В подмодели легких (с использованием задания граничных условий – закона движения стенок легких) выполняется определение изменения формы легких, распределения давления в легких, потоков воздушной смеси, а также определение закона изменения давления на выходах из системы бронхов в процессе дыхательного цикла. С использованием граничных условий (параметров, компонентного и дисперсного состава вдыхаемой воздушной смеси на входе, а также закона изменения давления на выходах из бронхов) и подмодели течения воздуха в воздухоносных путях выполняется исследование потоков воздушной смеси в участке воздухоносных путей от носовой полости до 5 генерации бронхов. Также в процессе исследования выполняется оценка оседания пылевых частиц различного дисперсного состава в воздухопроводящих путях, выделение зон локализации осевших частиц, оценка доли частиц, способных достичь нижележащих дыхательных путей и альвеол в легких человека, определяется состав воздушной смеси на входе в легкие.

При этом предварительные расчеты показали, что крупные частицы, способные оказать влияние на поток, оседают в верхних воздухоносных путях, легких достигают мельчайшие частицы, которые дви-

<sup>4</sup>Анатомия человека: в 2 т. / Э.И. Борзяк, Л.И. Волкова, Е.А. Добровольская, В.С. Ревазов, М.Р. Сапин / под ред. М.Р. Сапина. – М.: Медицина, 1993. – Т. 1. – 544 с.

<sup>5</sup>Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. – М.; Ленинград: Гостехиздат, 1947. – 244 с.; Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. – М.: Недра, 1972. – 288 с.

жуются вместе с потоком воздуха. На основе подмодели легких и информации о составе воздушной фазы, достигающей легких, определяются зоны локализации максимальных рисков в легких человека (зоны, в которых наблюдаются наибольшие изменения массы воздушной смеси в процессе дыхательного цикла).

Математическая постановка задачи течения воздушной смеси в дыхательной системе описывается с использованием соотношений механики сплошных сред. Для исследования процессов в воздухоносных путях применяется инженерный программный пакет Ansys CFX, в легких человека – собственный разработанный комплекс программ; при этом обмен данными между подмоделями воздухоносных путей и легких осуществляется через граничные условия.

**Результаты и их обсуждение.** Численное моделирование течения воздушной смеси в дыхательной системе человека выполнялось на основе персонализированной трехмерной геометрии воздухоносных путей и легких, восстановленной на основе данных томографических снимков (см. рис. 1) взрослого человека, не имеющего патологий органов дыхания и соответствующего физиологическим нормам.

Рассматривается периодический (синусоидальный) закон движения стенок с периодом дыхания, равным  $4\text{ с}^6$ , характерный для спокойного дыхания. В качестве начального состояния дыхательного цикла рассмотрим момент «конец выдоха – переход к вдоху» (скорости движения частиц воздуха в данный момент полагаются равными нулю, перепад давления в легких и воздухоносных путях (на входах в легкие) отсутствует, давление воздуха в легких равно атмосферному).

В рассматриваемом сценарии в процессе дыхательного цикла объем вдыхаемого воздуха (ды-

хательный объем) составляет  $0,79\text{ л}$ ; экскурсия грудной клетки (разница между показателями окружности грудной клетки на вдохе и выдохе) составляет  $1,9\%$ ; максимальное смещение оснований легких по вертикальной координате равно  $0,0155\text{ м}$  для левого и  $0,0146\text{ м}$  для правого легкого. Приведенные параметры соответствуют известным физиологическим данным для спокойного дыхания взрослого человека.

Предварительные численные расчеты показали, что доля оседающих в дыхательных путях частиц (определенного размера) постоянна и не зависит от входной концентрации. Доля оседающих частиц зависит от размера и массы (плотности). Рассматривалось движение и оседание частиц диаметром  $10; 2,5; 1\text{ мкм}$  и плотностью  $2700\text{ кг/м}^3$ .

Дыхательный цикл имеет продолжительность  $4\text{ с}$ , интервал  $(0; 2)\text{ с}$  соответствует фазе вдоха,  $(2; 4)\text{ с}$  – фазе выдоха. На рис. 2 приведены векторы скорости движения точек двухфазной пористой среды легких в момент середины вдоха ( $t = 1\text{ с}$ ) (см. рис. 2, а) и в момент середины выдоха ( $t = 3\text{ с}$ ) (см. рис. 2, б) в аксонометрии. На рис. 3 представлены перемещения точек двухфазной среды легких в момент максимального вдоха ( $t = 2\text{ с}$ ) в аксонометрии (см. рис. 3, а) в фронтальной плоскости (вид спереди) (см. рис. 3, б).

Легкие располагаются в грудной полости (каждое в своем плевральном мешке), отделены друг от друга средостением. Легкие снизу соприкасаются с главной дыхательной мышцей – диафрагмой, по сторонам – с грудной стенкой.

Наибольшие скорости движения точек двухфазной среды легких (см. рис. 2), а также наибольшие перемещения (см. рис. 3) наблюдаются по вертикальной координате у точек, лежащих в основа-

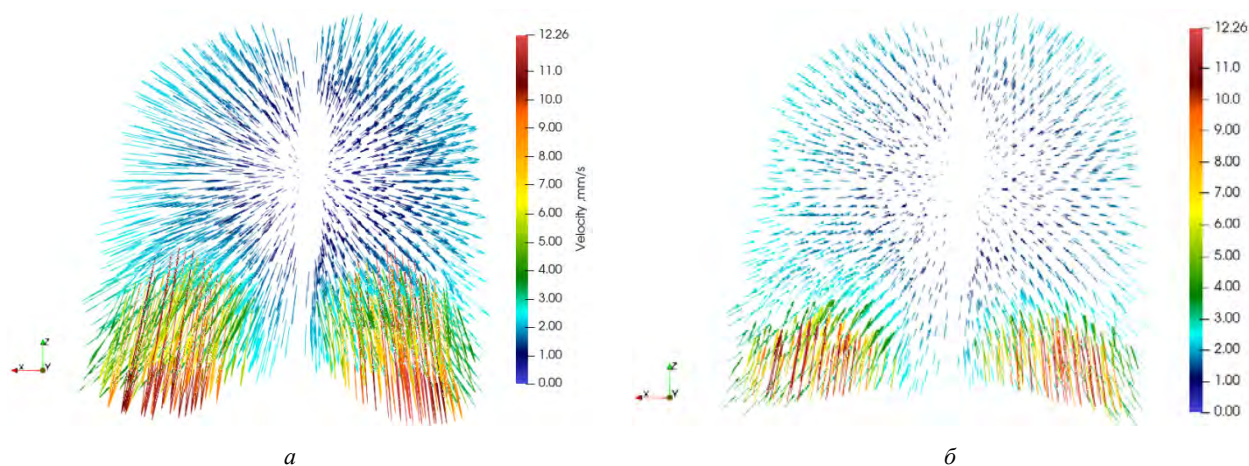


Рис. 2. Векторы скорости движения точек двухфазной среды легких в момент: а – середины вдоха (вид спереди); б – середины выдоха (вид спереди)

<sup>6</sup> Уэст Дж. Физиология дыхания. Основы / пер. с англ. Н.Н. Алипова; под ред. А.М. Генина. – М.: Мир, 1988. – 200 с.



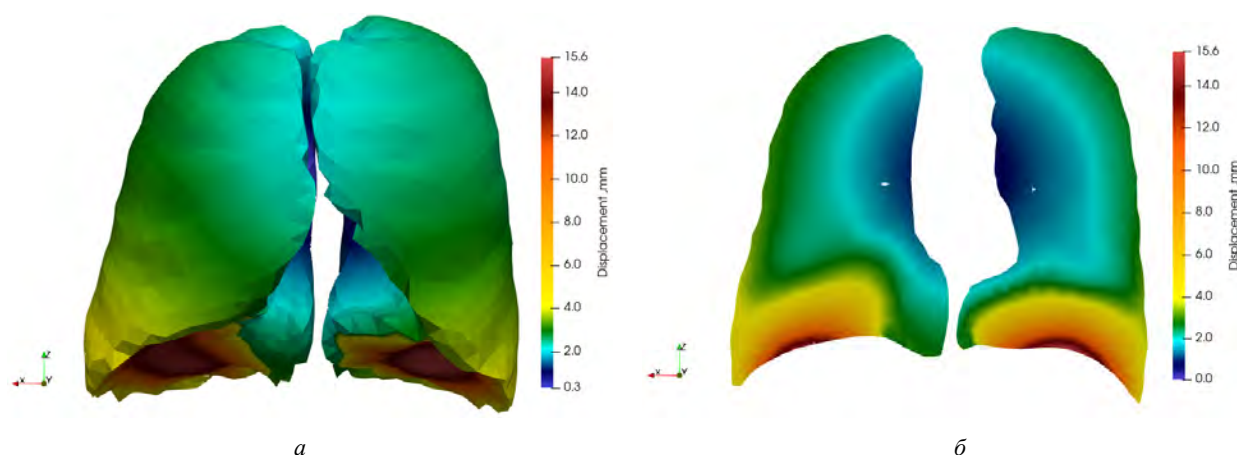


Рис. 3. Перемещение точек двухфазной среды легких на момент максимального вдоха: *а* – вид спереди; *б* – в фронтальной плоскости, вид спереди

нии легких, располагающихся над диафрагмой. Основания (нижние границы) легких, соприкасающиеся с диафрагмой, имеют форму купола. В процессе дыхания диафрагма (а также основание легкого) опускается, при этом вершина купола испытывает наибольшие смещения. В конце вдоха основания легких уплотняются.

Области входа главных бронхов в легкие («корень легкого»), крепящиеся к недеформируемым главным бронхам, испытывают наименьшие смещения. Стенки легких, соприкасающиеся с грудной клеткой, в процессе дыхательного цикла расширяются / сжимаются. Величина расширения стенок легких в зависимости от вертикальной координаты неравномерная; в области вершины легкого происходит наименьшее расширение, по мере приближения к основанию легких степень расширения увеличивается.

Неравномерное изменение объема легких, аппроксимированных двухфазной пористой средой, приводит к неравномерному изменению давления

в объеме легких (рис. 4). На рис. 4, *а*, приведено поле давления газовой фазы в легких человека во время вдоха (в момент времени  $t = 1,5$  с начала дыхательного цикла), на рис. 4, *б* – во время выдоха (в момент времени  $t = 2,5$  с начала дыхательного цикла). Области легких, испытывающие наибольшие изменения объема, характеризуются наибольшими градиентами давления (отмечены темно-синим цветом на рис. 4, *а* и темно-красным на рис. 4, *б*). Изменение давления приводит к движению воздушной смеси (из области высокого давления в область низкого давления).

На основе численного моделирования пространственного распределения параметров воздушной фазы в легких человека определяются законы изменения давления на выходах из бронхов в процессе дыхательного цикла, которые в дальнейшем используются в качестве граничных условий в подмодели движения воздушной смеси в воздухоносных путях.

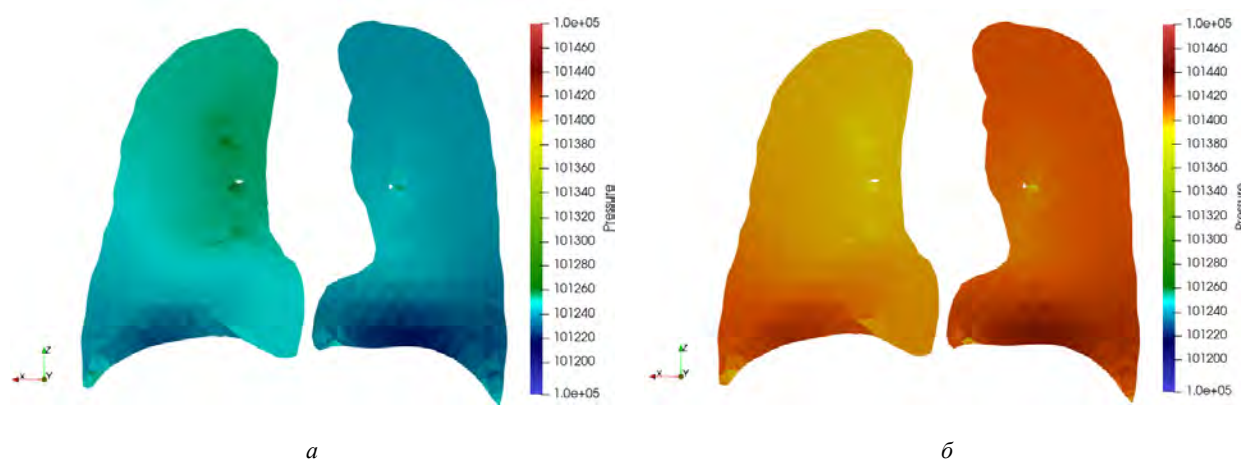


Рис. 4. Поле давления газовой фазы в легких человека во время: *а* – вдоха (в момент времени  $t = 1,5$  с начала дыхательного цикла) (в фронтальной плоскости, вид спереди); *б* – выдоха (в момент времени  $t = 2,5$  с начала дыхательного цикла) (в фронтальной плоскости, вид спереди)

С использованием подмодели течения воздушной смеси в воздухопроводящей зоне получены результаты скоростей потока несущей воздушной фазы, траектории движения частиц пылевой фазы (различных размеров), а также количественные оценки оседания частиц различных размеров в воздухоносных путях и частиц, способных достичь нижележащих дыхательных путей и альвеол в легких человека.

На рис. 5 представлены расчетные линии тока и поле скоростей частиц вдыхаемого воздуха в участке воздухоносных путей от носовой полости до 5 генерации бронхов в момент середины вдоха. Наибольшие скорости течения воздуха наблюдаются в участке ротоглотки и гортани (голосовой щели), что обусловлено сужением каналов в данных участках тракта. В носовой полости и гортаноглотке определяются завихрения потоков воздуха, что обусловлено сложной анатомической структурой. Характер течения воздуха является переходным турбулентным, для описания турбулентности потока воздуха использовалась  $k-\omega$ -модель.

На рис. 6, 7 представлены траектории движения частиц  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  и  $PM_1$  в воздухоносных путях во время вдоха. Способность к осаждению взвешенных частиц в воздухоносных путях различа-

ется в зависимости от их размера и массы. По мере уменьшения размера и массы доля осевших частиц уменьшается. Частицы диаметром 10 мкм и больше за счет инерции эффективно осаждаются в начальных участках воздухоносных путей (носовой полости, глотке, гортани) (см. рис. 6). Частицы диаметром 2,5 мкм и меньше способны достигать легких человека (см. рис. 7). Частицы эффективно оседают в носовых ходах носовой полости, имеющей сложную анатомическую структуру, в местах сужения воздухоносных путей (в ротоглотке, гортани), в местах бифуркации воздухоносных путей.

Согласно результатам численного моделирования, основная часть частиц (достигающих легких) в процессе дыхания попадает в нижние долевые бронхи, преимущественно в правом легком. Проникая в воздухоносные пути, пылевые частицы способны приводить к развитию бронхолегочных патологий, в том числе к пневмокониозам. При диагностике силикозов на ранних этапах заболевания на рентгенограммах наблюдается усиление и деформация легочного рисунка. При этом изменения, как правило, симметричны, иногда более выражены в правом легком с преимущественной локализацией в нижних и средних отделах<sup>7</sup> [32], что согласуется с полученными результатами численного моделирования.

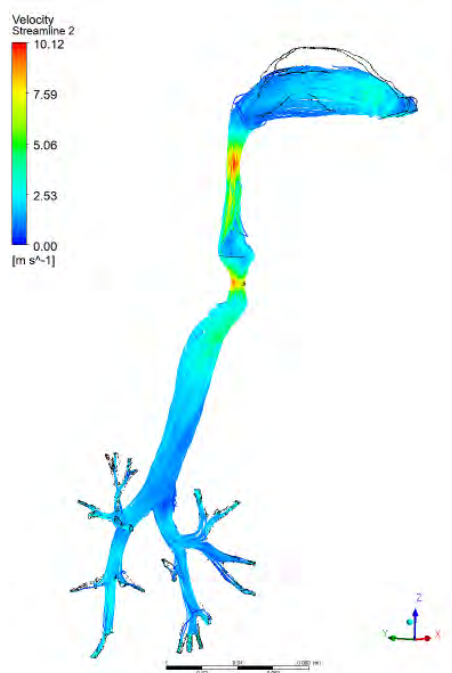


Рис. 5. Линии тока и поле скоростей воздуха в воздухоносных путях в момент времени середины вдоха



Рис. 6. Траектории движения твердых частиц диаметром 10 мкм в воздухоносных путях

<sup>7</sup> Профессиональные болезни: учебное пособие / И.Ф. Костюк, В.А. Капустник, В.П. Брыкаллин, А.А. Калмыков. – Харьков: ХГМУ, 2007. – 155 с.; Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике пневмокониозов / Л.В. Артемова, Н.В. Баскова, Т.Б. Бурмистрова, Е.А. Буракина, И.В. Бухтияров, А.Ю. Бушманов, О.С. Васильева, В.Г. Власов [и др.] / под ред. Н.Ф. Измерова. – М., 2014. – 46 с.

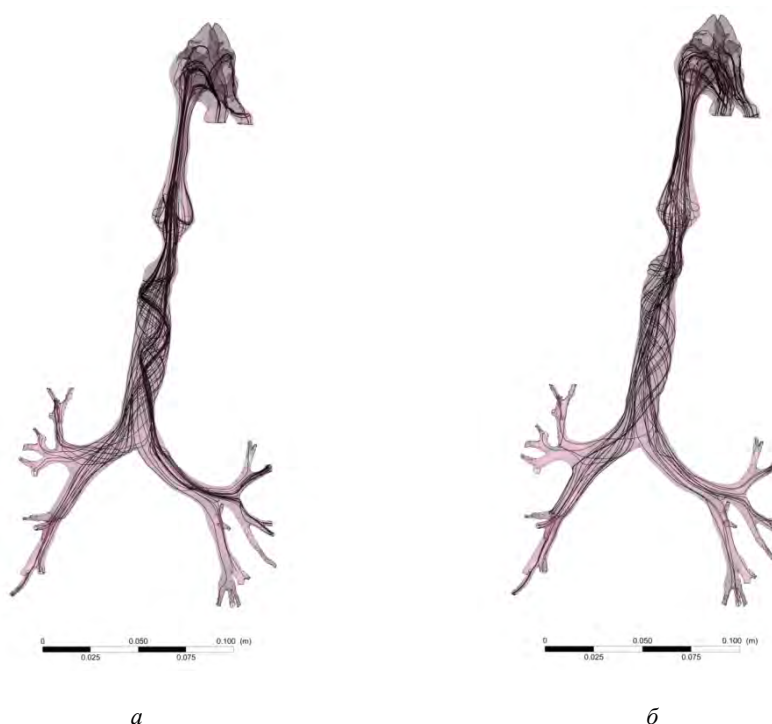


Рис. 7. Траектории движения твердых частиц в воздухоносных путях: *а* – диаметром 2,5 мкм; *б* – диаметром 1 мкм

Согласно полученным результатам численного моделирования движения запыленного воздуха в участке от носовой полости до пятой генерации бронхов (с использованием конечно-элементной сетки, состоящей из 582 тыс. элементов), при спокойном дыхании оседает 95,12 % частиц диаметром 10 мкм, 65,55 % частиц диаметром 2,5 мкм, 61,43 % частиц диаметром 1 мкм. Нижележащих дыхательных путей и легких достигают и имеют возможность в них осесть 34,45 % частиц диаметром 2,5 мкм и 38,57 % частиц диаметром 1 мкм. Полученные численные расчеты качественно хорошо согласуются с результатами проведенного натурального эксперимента, выполненного специалистами ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», по исследованию закономерностей распределения пылевых частиц атмосферного воздуха в воздухоносных путях человека [33].

Мелкие фракции движутся с потоком воздуха, проникают на максимальную глубину дыхательной системы и, соответственно, область их наибольшего оседания может находиться в легочных альвеолах. Контактируя со стенками, частицы способны оседать, накапливаться со временем и являться причиной развития и / или обострения патологических состояний.

Зоны локализации максимальных рисков в легких человека будем определять на основе изменений массы воздуха в процессе дыхательного цикла. Чем больше массы воздушной смеси поступает в участок легочной ткани в процессе дыхания, тем больше вероятность оседания частиц в данной зоне. На

рис. 8 представлено отношение массы воздуха в легких человека в момент максимального расширения к начальному состоянию.

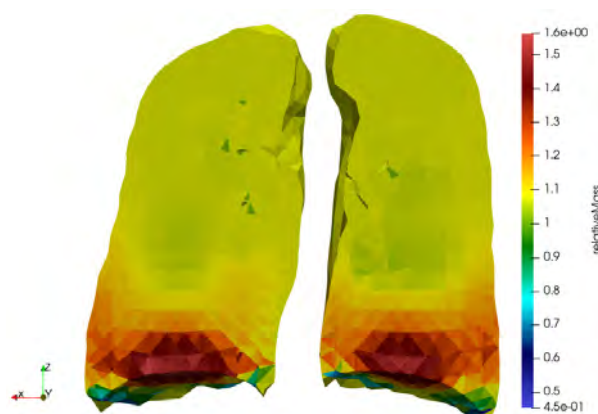


Рис. 8. Отношение массы воздушной смеси в легких человека в момент максимального расширения к начальному состоянию

Наибольшие изменения массы наблюдаются в нижних отделах легких; различия достигают 1,6 раза, по сравнению с начальным состоянием. Результаты для левого и правого легкого симметричные; при этом, учитывая, что согласно полученным с использованием подмодели течения воздушной смеси в воздухоносных путях результатам в правое легкое способно проникать большее количество частиц, можно ожидать в нем больше негативных эффектов. Полученные результаты также согласуются с медицинским фактом, что патологические изменения в легких при возникновении си-

ликоза начинают проявляться с нижних отделов (как правило, симметрично, иногда более выражено в правом легком)<sup>8</sup> [32].

Взвешенные вещества, контактируя со стенкой дыхательных путей, являются причиной негативных эффектов со стороны органов дыхания (как верхних и крупных нижних воздухоносных путей, так и более мелких дыхательных путей и альвеол в легких человека). В зависимости от компонентного состава и размера частиц, длительности экспозиции, индивидуальных особенностей организма человека негативные эффекты могут варьироваться. В подробной обзорной работе Л.М. Фатхутдиновой и соавт. [34], в которой проанализированы и обобщены результаты российских и зарубежных исследований за период 1990–2021 гг., посвященных влиянию загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами на здоровье населения, приведен обширный перечень негативных ответов как со стороны органов дыхания, так и других органов и систем человека (в том числе системы кровообращения), а также потенциальных патогенетических механизмов. «К потенциальным патогенетическим механизмам воздействия взвешенных частиц относят окислительный стресс, воспалительные реакции, нарушения вегетативной регуляции и сердечного ритма, прохождение частиц через альвеолярный барьер в сосудистое русло с повреждением эндотелия и тромбообразованием, генотоксичность» [34, с. 862]. При этом в работе отмечается, что механизмы и эффекты хронических продолжительных воздействий пылевых частиц до сих пор остаются не до конца изученными. Определение зон локализа-

ции рисков негативных эффектов на основе численного моделирования процесса дыхания является базой для дальнейшего решения задач в области прогнозирования рисков возникновения нарушений со стороны здоровья.

**Выводы.** Предложена математическая модель для описания течения воздушной смеси в воздухоносных путях и легких человека. Математическая модель дыхательной системы описывается с использованием соотношений механики сплошных сред. Персонализированная трехмерная геометрия воздухоносных путей и легких человека восстановлена на основе томографических снимков. На основе численного моделирования (с использованием инженерного пакета и собственного разработанного комплекса программ) исследовано пространственное распределение воздушно-пылевых потоков в участках дыхательной системы, а также выделены зоны оседания пылевых частиц, формирующие зоны повышенных рисков негативных эффектов со стороны органов дыхания. Представленная модель дыхательной системы является базой для дальнейшего моделирования воздействия на организм человека аэрогенных факторов риска здоровью населения, а также для моделирования процесса дыхания при наличии патологии.

**Финансирование.** Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSNM-2023-0003).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Анализ риска здоровью при воздействии атмосферных загрязнений как составная часть стратегии уменьшения глобальной эпидемии неинфекционных заболеваний / В.Н. Ракитский, С.Л. Авалиани, С.М. Новиков, Т.А. Шашина, Н.С. Додина, В.А. Кислицин // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 4. – С. 30–36. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.03
2. Brunekreef B., Holgate S.T. Air pollution and health // *Lancet*. – 2002. – Vol. 360, № 9341. – P. 1233–1242. DOI: 10.1016/S0140-6736(02)11274-8
3. Grzywa-Celińska A., Krusiński A., Milanowski J. ‘Smoging kills’ – Effects of air pollution on human respiratory system // *Ann. Agric. Environ. Med.* – 2020. – Vol. 27, № 1. – P. 1–5. DOI: 10.26444/aaem/110477
4. The impact of PM<sub>2.5</sub> on the human respiratory system / Y.-F. Xing, Y.-H. Xu, M.-H. Shi, Y.-X. Lian // *J. Thorac. Dis.* – 2016. – Vol. 8, № 1. – P. E69–E74. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19
5. Власова Е.М., Воробьева А.А., Пономарева Т.А. Особенности формирования кардиореспираторной патологии у работников титаномagneйных производств // *Медицина труда и промышленная экология*. – 2017. – № 9. – С. 38.
6. Гигиеническая оценка аэрогенного воздействия взвешенных веществ на заболеваемость детей болезнями органов дыхания в зоне влияния выбросов металлургического производства / И.В. Тихонова, М.А. Землянова, Ю.В. Кольдибекова, Е.В. Пескова, А.М. Игнатова // *Анализ риска здоровью*. – 2020. – № 3. – С. 61–69. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.07
7. Особенности заболеваний органов дыхания у плавильщиков титановых сплавов в условиях сочетанного воздействия мелкодисперсной пыли и соединений хлора / Е.М. Власова, О.Ю. Устинова, А.Е. Носов, С.Ю. Загороднов // *Гигиена и санитария*. – 2019. – Т. 98, № 2. – С. 153–158. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-153-158
8. Мудрый И.В., Короленко Т.К. Тяжелые металлы в окружающей среде и их влияние на организм // *Врачебное дело*. – 2002. – № 5–6. – С. 6–9.

<sup>8</sup> Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике пневмокониозов / Л.В. Артемова, Н.В. Баскова, Т.Б. Бурмистрова, Е.А. Бурякина, И.В. Бухтияров, А.Ю. Бушманов, О.С. Васильева, В.Г. Власов [и др.]; под ред. Н.Ф. Измерова. – М., 2014. – 46 с.



9. Таран А.А., Бирюкова Н.В. Влияние экологии на здоровье человека в XXI веке // Актуальные вопросы современной науки и образования. – Пенза: ООО «Наука и Просвещение», 2021. – С. 258–264.
10. Toxicological profile for Silica [Электронный ресурс]. – Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, 2019. – URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp211.pdf> (дата обращения: 10.01.2023).
11. The Link Between Aluminum Exposure And Alzheimer's Disease Can No Longer Be Ignored [Электронный ресурс] // Daily Health Post. – 2020. – URL: <https://dailyhealthpost.com/study-links-alzheimers-to-aluminum-exposure/> (дата обращения: 12.01.2023).
12. Toxicological profile for Aluminum [Электронный ресурс] // Agency for Toxic Substances and Disease Registry. – Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2008. – URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp22.pdf> (дата обращения: 12.01.2023).
13. Профессиональная заболеваемость работников алюминиевой промышленности – возможные пути решения проблемы / И.П. Данилов, В.В. Захаренко, А.М. Олещенко, О.П. Шавлова, Д.В. Суржиков, Т.Г. Корсакова, В.В. Кислицына, Е.А. Панаиотти // Бюллетень ВЧЦ СО РАМН. – 2010. – № 4 (74). – С. 17–20.
14. Fluorescent reconstitution on deposition of PM<sub>2.5</sub> in lung and extrapulmonary organs / D. Li, Y. Li, G. Li, Y. Zhang, J. Li, H. Chen // Proc. Natl Acad. Sci. USA. – 2019. – Vol. 116, № 7. – P. 2488–2493. DOI: 10.1073/pnas.1818134116
15. Airflow and Deposition of Nano-Particles in a Human Nasal Cavity / P. Zamankhan, G. Ahmadi, Z. Wang, P.K. Hopke, Y.-S. Cheng, W.-C. Su, D. Leonard // Aerosol Science and Technology. – 2006. – Vol. 40. – P. 463–476. DOI: 10.1080/02786820600660903
16. Computational analysis of airflow and particle deposition fraction in the upper part of the human respiratory system / S.E. Saghaian, A.R. Azimian, R. Jalilvand, S. Dadkhah, S.M. Saghaian // Biology, Engineering and Medicine. – 2018. – Vol. 3, № 6. – P. 6–9. DOI: 10.15761/BEM.1000155
17. Rostami A.A. Computational modeling of aerosol deposition in respiratory tract: a review // Inhal. Toxicol. – 2009. – Vol. 21, № 4. – P. 262–290. DOI: 10.1080/08958370802448987
18. Математическая модель течения воздуха с твердыми частицами в носовой полости человека / П.В. Трусов, Н.В. Зайцева, М.Ю. Цинкер, А.В. Некрасова // Математическая биология и биоинформатика. – 2021. – Т. 16, № 2. – С. 349–366. DOI: 10.17537/2021.16.349
19. Численное исследование нестационарного течения запыленного воздуха и оседания пылевых частиц различных размеров в нижних дыхательных путях человека / П.В. Трусов, Н.В. Зайцева, М.Ю. Цинкер, А.И. Кучуков // Математическая биология и биоинформатика. – 2023. – Т. 18, № 2. – С. 347–366. DOI: 10.17537/2023.18.347
20. Ultrastructural changes in the air–blood barrier in mice after intratracheal instillations of Asian sand dust and gold nanoparticles / K. Rattanapinyopituk, A. Shimada, T. Morita, M. Togawa, T. Hasegawa, Y. Seko, K. Inoue, H. Takano // Exp. Toxicol. Pathol. – 2013. – Vol. 65, № 7–8. – P. 1043–1051. DOI: 10.1016/j.etp.2013.03.003
21. Extrapulmonary translocation of intratracheally instilled fine and ultrafine particles via direct and alveolar macrophage-associated routes / A. Furuyama, S. Kanno, T. Kobayashi, S. Hirano // Archives of Toxicology. – 2009. – Vol. 83. – P. 429–437. DOI: 10.1007/s00204-008-0371-1
22. Size-dependent uptake of particles by pulmonary antigen-presenting cell populations and trafficking to regional lymph nodes / F. Blank, P.A. Stumbles, E. Seydoux, P.G. Holt, A. Fink, B. Rothen-Rutishauser, D.H. Strickland, C. von Garnier // Am. J. Respir. Cell Mol. Biol. – 2013. – Vol. 49, № 1. – P. 67–77. DOI: 10.1165/rcmb.2012-0387OC
23. Rapid translocation of nanoparticles from the lung airspaces to the body / H.S. Choi, Y. Ashitate, J.H. Lee, S.H. Kim, A. Matsui, N. Insin, M.G. Bawendi, M. Semmler-Behnke [et al.] // Nat. Biotechnol. – 2010. – Vol. 28, № 12. – P. 1300–1303. DOI: 10.1038/nbt.1696
24. Intratracheally instilled titanium dioxide nanoparticles translocate to heart and liver and activate complement cascade in the heart of C57BL/6 mice / M. Husain, D. Wu, A.T. Saber, N. Decan, N.R. Jacobsen, A. Williams, C.L. Yauk, H. Wallin [et al.] // Nanotoxicology. – 2015. – Vol. 9, № 8. – P. 1013–1022. DOI: 10.3109/17435390.2014.996192
25. Wall W.A., Rabczuk T. Fluid structure interaction in lower airways of CT-based lung geometries // Int. J. Num. Methods in Fluids. – 2008. – Vol. 57, № 5. – P. 653–675. DOI: 10.1002/fld.1763
26. Numerical study of nano and micro pollutant particle transport and deposition in realistic human lung airways / M. Rahman, M. Zhao, M.S. Islam, K. Dong, S.C. Saha // Powder Technology. – 2022. – Vol. 402. – P. 117364. DOI: 10.1016/j.powtec.2022.117364
27. The influence of lung volume during imaging on CFD within realistic airway models / I. Katz, M. Pichelin, S. Montesantos, A. Murdock, S. Fromont, J. Venegas, G. Caillibotte // Aerosol Science and Technology. – 2017. – Vol. 51, № 2. – P. 214–223. DOI: 10.1080/02786826.2016.1254721
28. CFD simulation of airflow behavior and particle transport and deposition in different breathing conditions through the realistic model of human airways / M. Rahimi-Gorji, O. Pourmehran, M. Gorji-Bandpy, T.B. Gorji // Journal of Molecular Liquids. – 2015. – Vol. 209. – P. 121–133. DOI: 10.1016/j.molliq.2015.05.031
29. Numerical simulation of inhaled aerosol particle deposition within 3D realistic human upper respiratory tract / J. Lin, J.R. Fan, Y.Q. Zheng, G.L. Hu, D. Pan // AIP Conference Proceedings. – 2010. – Vol. 1207, № 1. – P. 992–997. DOI: 10.1063/1.3366500
30. Transient dynamics simulation of airflow in a CT-scanned human airway tree: More or fewer terminal bronchi? / S. Qi, B. Zhang, Y. Teng, J. Li, Y. Yue, Y. Kang, W. Qian // Comput. Math. Methods Med. – 2017. – Vol. 2017. – P. 1969023. DOI: 10.1155/2017/1969023
31. Трусов П.В., Зайцева Н.В., Цинкер М.Ю. О моделировании течения воздуха в легких человека: конститутивные соотношения для описания деформирования пористой среды // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2020. – № 4. – С. 165–174. DOI: 10.15593/perm.mech/2020.4.14
32. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике пневмокониозов / Л.В. Артемова, Н.В. Баскова, Т.Б. Бурмистрова, Е.А. Бурыкина, И.В. Бухтияров, А.Ю. Бушманов, О.С. Васильева, В.Г. Власов [и др.] // Медицина труда и промышленная экология. – 2016. – № 1. – С. 36–49.

33. Распределение твердых частиц микроразмерного диапазона в дыхательных путях человека: натурный эксперимент / Н.В. Зайцева, Д.А. Кирьянов, С.В. Клейн, М.Ю. Цинкер, А.М. Андришунас // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102, № 5. – С. 412–420. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-5-412-420

34. Риски здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами / Л.М. Фатхутдинова, Е.А. Тафеева, Г.А. Тимербулатова, Р.Р. Залялов // Казанский медицинский журнал. – 2021. – Т. 102, № 6. – С. 862–876. DOI: 10.17816/KMJ2021-862

*Оценка пространственного распределения зон локализации риска развития бронхолегочной патологии на основе математического моделирования воздушно-пылевых потоков в дыхательных путях и легких человека / П.В. Трусов, М.Ю. Цинкер, Н.В. Зайцева, В.В. Нурисламов, П.Д. Свинцова, А.И. Кучуков // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 141–152. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.13*

UDC 539.3; 532.546; 51-76; 519.6  
DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.13.eng



Research article

## ASSESSING SPATIAL DISTRIBUTION OF SITES WITH A RISK OF DEVELOPING BRONCHOPULMONARY PATHOLOGY BASED ON MATHEMATICAL MODELING OF AIR-DUST FLOWS IN THE HUMAN AIRWAYS AND LUNGS

**P.V. Trusov<sup>1,2</sup>, M.Yu. Tsinker<sup>1,2</sup>, N.V. Zaitseva<sup>1,3</sup>,  
V.V. Nurislamov<sup>1,2</sup>, P.D. Svintsova<sup>2</sup>, A.I. Kuchukov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies,  
82 Monastyrskaya St., Perm, 614045, Russian Federation

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomolskii Av., Perm, 614990, Russian Federation

<sup>3</sup>Russian Academy of Sciences, the Department for Medical Sciences, 14 Solyanka St., Moscow, 109240,  
Russian Federation

*The article continues the series of studies that describe a mathematical model of the respiratory system developed by the authors and dwell on its use in practice to assess and predict risks for human health caused by negative effects of air-borne environmental factors. The mathematical model includes several submodels that describe how an air mixture flows in the air-conducting zone (it includes the nasal cavity, pharynx, larynx, trachea and five generations of bronchi) and the lungs approximated with a continuous two-phase elastically deformed porous medium. The mathematical model is described by using continuum mechanics relationships. It is realized numerically by using engineering software (to investigate processes in the airways) and a self-developed set of programs (to simulate processes in the lungs). Numeric modeling of a non-stationary flow of an air-dust mixture is performed for a personalized three-dimensional geometry of the human respiratory system based on CT-scans.*

© Trusov P.V., Tsinker M.Yu., Zaitseva N.V., Nurislamov V.V., Svintsova P.D., Kuchukov A.I., 2024

**Petr V. Trusov** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Chief Researcher of Mathematic Modeling Department; Head of Mathematic Modeling of Systems and Processes Department (e-mail: tpv@matmod.pstu.ac.ru; tel.: +7 (342) 239-16-07; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8997-5493>).

**Mikhail Yu. Tsinker** – Junior Researcher at the Department for Mathematical Modeling of Systems and Processes (e-mail: cinker@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2639-5368>).

**Nina V. Zaitseva** – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific Director (e-mail: znv@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-25-34; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

**Vladislav V. Nurislamov** – programmer of the Department for Mathematical Modeling of Systems and Processes; student of Mathematic Modeling of Systems and Processes Department (e-mail: maixrock3@gmail.com; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6206-8047>).

**Polina D. Svintsova** – student of Mathematic Modeling of Systems and Processes Department (e-mail: appolinaryasd@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3010-1224>).

**Artur I. Kuchukov** – student of Mathematic Modeling of Systems and Processes Department (e-mail: akuchukov01@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0330-245X>).

The study provides calculated lines of velocity for a flow of particles in inhaled air in the airways. We have quantified shares of deposited particles with their diameters being 10  $\mu\text{m}$ , 2.5  $\mu\text{m}$ , and 1  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_1$ ) in the airways; the study also provides trajectories of particulate matter. As particles become smaller and lighter, the share of deposited ones goes down in the airways and grows in the lungs. According to numeric modeling, most (more than 95 %) large particles ( $\text{PM}_{10}$ ) are deposited in the nasal cavity, pharynx and larynx; small particles are able to reach the lower airways and bronchi (most particles that reach the lungs penetrate lobar bronchi predominantly in the right lung). Sites with maximum health risks in the human lungs have been identified relying on assessing changes in an air phase mass within the respiration cycle; they are located in lower lobes of the lungs. When contacting airway walls, particles are able to be deposited and accumulate over time producing irritating, toxic and fibrogenic effects; they can thus cause and / or exacerbate pathological states.

**Keywords:** mathematical model, respiratory system, air-dust mixture, particle sedimentation, risk sites, human health, numeric modeling, personalized model.

## References

1. Rakitskii V.N., Avaliani S.L., Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislitsin V.A. Health risk analysis related to exposure to ambient air contamination as a component in the strategy aimed at reducing global non-infectious epidemics. *Health Risk Analysis*, 2019, no. 4, pp. 30–36. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.03.eng
2. Brunekreef B., Holgate S.T. Air pollution and health. *Lancet*, 2002, vol. 360, no. 9341, pp. 1233–1242. DOI: 10.1016/S0140-6736(02)11274-8
3. Grzywa-Celińska A., Krusiński A., Milanowski J. 'Smogging kills' – Effects of air pollution on human respiratory system. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 2020, vol. 27, no. 1, pp. 1–5. DOI: 10.26444/aaem/110477
4. Xing Y.-F., Xu Y.-H., Shi M.-H., Lian Y.-X. The impact of  $\text{PM}_{2.5}$  on the human respiratory system. *J. Thorac. Dis.*, 2016, vol. 8, no. 1, pp. E69–E74. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19
5. Vlasova E.M., Vorobeva A.A., Ponomareva T.A. Peculiarities of cardiovascular pathology formation in workers of titanium-magnesium production. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 9, pp. 38 (in Russian).
6. Tikhonova I.V., Zemlyanova M.A., Kol'dibekova Yu.V., Peskova E.V., Ignatova A.M. Hygienic assessment of aerogenic exposure to particulate matter and its impacts on morbidity with respiratory diseases among children living in a zone influenced by emissions from metallurgic production. *Health Risk Analysis*, 2020, no. 3, pp. 61–69. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.07.eng
7. Vlasova E.M., Ustinova O.Yu., Nosov A.E., Zagorodnov S.Yu. Peculiarities of respiratory organs diseases in smelters dealing with titanium alloys under combined exposure to fine-disperse dust and chlorine compounds. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 2, pp. 153–158. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-153-158 (in Russian).
8. Mudryi I.V., Korolenko T.K. [Heavy metals in the environment and their impact on the organism]. *Lik. Sprava*, 2002, no. 5–6, pp. 6–10 (in Ukrainian).
9. Taran A.A., Biryukova N.V. Modern quality of life in a metropolis and methods of dealing with environmental degradation. In book: *Aktual'nye voprosy sovremennoi nauki i obrazovaniya*. Penza, 'Nauka i Prosveshchenie' Publ., 2021, pp. 258–264 (in Russian).
10. Toxicological profile for Silica. Atlanta, GA, U.S. Department of Health and Human Services, 2019. Available at: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp211.pdf> (January 10, 2023).
11. The Link Between Aluminum Exposure And Alzheimer's Disease Can No Longer Be Ignored. *Daily Health Post*, 2020. Available at: <https://dailyhealthpost.com/study-links-alzheimers-to-aluminum-exposure/> (January 12, 2023).
12. Toxicological profile for Aluminum. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*. Atlanta, GA, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2008. Available at: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp22.pdf> (January 12, 2023).
13. Danilov I.P., Zakharenkov V.V., Oleshchenko A.M., Shavlova O.P., Surzhikov D.V., Korsakova T.G., Kislitsina V.V., Panaiotti E.A. Occupational diseases in aluminium workers – possible ways of solving the problem. *Byulleten' VSNTs SO RAMN*, 2010, no. 4 (74), pp. 17–20 (in Russian).
14. Li D., Li Y., Li G., Zhang Y., Li J., Chen H. Fluorescent reconstitution on deposition of  $\text{PM}_{2.5}$  in lung and extrapulmonary organs. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 2019, vol. 116, no. 7, pp. 2488–2493. DOI: 10.1073/pnas.1818134116
15. Zamankhan P., Ahmadi G., Wang Z., Hopke P.K., Cheng Y.-S., Su W.-C., Leonard D. Airflow and Deposition of Nano-Particles in a Human Nasal Cavity. *Aerosol Science and Technology*, 2006, vol. 40, pp. 463–476. DOI: 10.1080/02786820600660903
16. Saghaian S.E., Azimian A.R., Jalilvand R., Dadkhah S., Saghaian S.M. Computational analysis of airflow and particle deposition fraction in the upper part of the human respiratory system. *Biology, Engineering and Medicine*, 2018, vol. 3, no. 6, pp. 6–9. DOI: 10.15761/BEM.1000155
17. Rostami A.A. Computational modeling of aerosol deposition in respiratory tract: a review. *Inhal. Toxicol.*, 2009, vol. 21, no. 4, pp. 262–290. DOI: 10.1080/08958370802448987
18. Trusov P.V., Zaitseva N.V., Tsinker M.Yu., Nekrasova A.V. Mathematical model of airflow and solid particles transport in the human nasal cavity. *Matematicheskaya biologiya i bioinformatika*, 2021, vol. 16, no. 2, pp. 349–366. DOI: 10.17537/2021.16.349 (in Russian).
19. Trusov P.V., Zaitseva N.V., Tsinker M.Yu., Kuchukov A.I. Numeric investigation of non-stationary dust-containing airflow and deposition of dust particles in the lower airways. *Matematicheskaya biologiya i bioinformatika*, 2023, vol. 18, no. 2, pp. 347–366. DOI: 10.17537/2023.18.347 (in Russian).
20. Rattanapinyopituk K., Shimada A., Morita T., Togawa M., Hasegawa T., Seko Y., Inoue K., Takano H. Ultrastructural changes in the air–blood barrier in mice after intratracheal instillations of Asian sand dust and gold nanoparticles. *Exp. Toxicol. Pathol.*, 2013, vol. 65, no. 7–8, pp. 1043–1051. DOI: 10.1016/j.etp.2013.03.003

21. Furuyama A., Kanno S., Kobayashi T., Hirano S. Extrapulmonary translocation of intratracheally instilled fine and ultrafine particles via direct and alveolar macrophage-associated routes. *Archives of Toxicology*, 2009, vol. 83, pp. 429–437. DOI: 10.1007/s00204-008-0371-1
22. Blank F., Stumbles P.A., Seydoux E., Holt P.G., Fink A., Rothen-Rutishauser B., Strickland D.H., von Garnier C. Size-dependent uptake of particles by pulmonary antigen-presenting cell populations and trafficking to regional lymph nodes. *Am. J. Respir. Cell Mol. Biol.*, 2013, vol. 49, no. 1, pp. 67–77. DOI: 10.1165/rcmb.2012-0387OC
23. Choi H.S., Ashitate Y., Lee J.H., Kim S.H., Matsui A., Insin N., Bawendi M.G., Semmler-Behnke M. [et al.]. Rapid translocation of nanoparticles from the lung airspaces to the body. *Nat. Biotechnol.*, 2010, vol. 28, no. 12, pp. 1300–1303. DOI: 10.1038/nbt.1696
24. Husain M., Wu D., Saber A.T., Decan N., Jacobsen N.R., Williams A., Yauk C.L., Wallin H. [et al.]. Intratracheally instilled titanium dioxide nanoparticles translocate to heart and liver and activate complement cascade in the heart of C57BL/6 mice. *Nanotoxicology*, 2015, vol. 9, no. 8, pp. 1013–1022. DOI: 10.3109/17435390.2014.996192
25. Wall W.A., Rabczuk T. Fluid structure interaction in lower airways of CT-based lung geometries. *Int. J. Num. Methods in Fluids*, 2008, vol. 57, no. 5, pp. 653–675. DOI: 10.1002/fld.1763
26. Rahman M., Zhao M., Islam M.S., Dong K., Saha S.C. Numerical study of nano and micro pollutant particle transport and deposition in realistic human lung airways. *Powder Technology*, 2022, vol. 402, pp. 117364. DOI: 10.1016/j.powtec.2022.117364
27. Katz I., Pichelin M., Montesantos S., Murdock A., Fromont S., Venegas J., Caillibotte G. The influence of lung volume during imaging on CFD within realistic airway models. *Aerosol Science and Technology*, 2017, vol. 51, no. 2, pp. 214–223. DOI: 10.1080/02786826.2016.1254721
28. Rahimi-Gorji M., Pourmehran O., Gorji-Bandpy M., Gorji T.B. CFD simulation of airflow behavior and particle transport and deposition in different breathing conditions through the realistic model of human airways. *Journal of Molecular Liquids*, 2015, vol. 209, pp. 121–133. DOI: 10.1016/j.molliq.2015.05.031
29. Lin J., Fan J.R., Zheng Y.Q., Hu G.L., Pan D. Numerical simulation of inhaled aerosol particle deposition within 3D realistic human upper respiratory tract. *AIP Conference Proceedings*, 2010, vol. 1207, no. 1, pp. 992–997. DOI: 10.1063/1.3366500
30. Qi S., Zhang B., Teng Y., Li J., Yue Y., Kang Y., Qian W. Transient dynamics simulation of airflow in a CT-scanned human airway tree: More or fewer terminal bronchi? *Comput. Math. Methods Med.*, 2017, vol. 2017, pp. 1969023. DOI: 10.1155/2017/1969023
31. Trusov P.V., Zaitseva N.V., Tsinker M.Yu. On modeling of airflow in human lungs: constitutive relations to describe deformation of porous medium. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika*, 2020, no. 4, pp. 165–174. DOI: 10.15593/perm.mech/2020.4.14 (in Russian).
32. Artemova L.V., Baskova N.V., Burmistrova T.B., Buryakina E.A., Buhtiyarov I.V., Bushmanov A.Yu., Vasilyeva O.S., Vlasov V.G. [et al.]. Federal clinical recommendations on diagnosis, treatment and prevention of pneumoconiosis. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2016, no. 1, pp. 36–49 (in Russian).
33. Zaitseva N.V., Kiryanov D.A., Kleyn S.V., Tsinker M.Yu., Andrishunas A.M. Distribution of micro-sized range solid particles in the human airways: field experiment. *Gigiena i sanitariya*, 2023, vol. 102, no. 5, pp. 412–420. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-5-412-420 (in Russian).
34. Fatkhutdinova L.M., Tafeeva E.A., Timerbulatova G.A., Zalyalov R.R. Health risks of air pollution with fine particulate matter. *Kazanskii meditsinskii zhurnal*, 2021, vol. 102, no. 6, pp. 862–876. DOI: 10.17816/KMJ2021-862 (in Russian).

Trusov P.V., Tsinker M.Yu., Zaitseva N.V., Nurislamov V.V., Svintsova P.D., Kuchukov A.I. Assessing spatial distribution of sites with a risk of developing bronchopulmonary pathology based on mathematical modeling of air-dust flows in the human airways and lungs. *Health Risk Analysis*, 2024, no. 2, pp. 141–152. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.13.eng

Получена: 31.03.2024

Одобрена: 30.05.2024

Принята к публикации: 20.06.2024



## ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО СЕКТОРА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАК ФАКТОРЫ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

А.Г. Фадеев<sup>1</sup>, Д.В. Горяев<sup>1</sup>, П.З. Шур<sup>2</sup>, Н.В. Зайцева<sup>2</sup>, В.А. Фокин<sup>2</sup>, С.В. Редько<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю, Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, ул. Каратанова, 21

<sup>2</sup>Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Российская Федерация, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

*Производственные условия предприятий цветной металлургии характеризуются воздействием комплекса вредных химических элементов, присутствующих в воздухе рабочей зоны, способных приводить к развитию у работников патологических состояний, в частности, заболеваний органов дыхания. С целью обобщения информации о воздействии химических веществ, поступающих с воздухом рабочей зоны, на здоровье работников предприятий горнодобывающей отрасли проведен анализ научной литературы по библиографическим базам данных.*

*Профессиональная патология подземных горнорабочих характеризуется большой распространенностью заболеваний дыхательной системы – пневмокониозов, острых и хронических пылевых бронхитов. В структуре нозологических форм нарушений здоровья с временной утратой трудоспособности у работников горнодобывающей промышленности, занятых добычей руд цветных металлов, среди заболеваний дыхательной системы преобладают острый и хронический бронхиты. В горнорудной промышленности при проведении буровых и взрывных работ, дроблении полученной руды наблюдается выделение большого количества пыли в воздух рабочей зоны. Среди основных веществ, содержащихся в воздухе рабочей зоны горнодобывающей отрасли промышленности, присутствуют канцерогенные вещества: никель, свинец, формальдегид, кадмий, бенз(а)пирен. Отмечается одностороннее действие сернистого ангидрида, никеля, оксидов азота, акролеина, формальдегида, кадмия, взвешенных веществ на органы дыхания. На нервную систему способны оказывать негативное влияние марганец, свинец, селен. На систему крови негативно влияют никель, свинец, оксид углерода; на сердечно-сосудистую систему – оксид углерода и селен.*

*Условия труда рабочих подземных подразделений предприятий цветной металлургии характеризуются интенсивным воздействием химических веществ в воздухе рабочей зоны, которые создают риски развития профессиональных болезней дыхательной системы и злокачественных новообразований. Вероятно развитие болезней нервной, иммунной, сердечно-сосудистой систем, системы крови. При планировании комплекса профилактических мероприятий целесообразно выявление групп заболеваний, связанных с условиями труда, обусловленных в том числе присутствием специфического химического фактора.*

**Ключевые слова:** химические вещества, профессиональный риск, воздух рабочей зоны, болезни органов дыхания, горнодобывающая промышленность, условия труда, предприятия цветной металлургии, фактор риска.

© Фадеев А.Г., Горяев Д.В., Шур П.З., Зайцева Н.В., Фокин В.А., Редько С.В., 2024

**Фадеев Алексей Геннадьевич** – начальник отдела надзора за условиями труда (e-mail: onut@24.rospotrebnadzor.ru; тел.: 8 (391) 227-66-43; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1712-9196>).

**Горяев Дмитрий Владимирович** – кандидат медицинских наук, руководитель, главный государственный санитарный врач по Красноярскому краю (e-mail: office@24.rospotrebnadzor.ru; тел.: 8 (391) 226-89-50; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6450-4599>).

**Зайцева Нина Владимировна** – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель (e-mail: znv@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-34; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

**Шур Павел Залманович** – доктор медицинских наук, ученый секретарь, главный научный сотрудник (e-mail: shur@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5171-3105>).

**Редько Светлана Валентиновна** – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела анализа риска для здоровья (e-mail: redkovs@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2736-5013>).

**Фокин Владимир Андреевич** – научный сотрудник отдела анализа риска для здоровья (e-mail: fokin@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0539-7006>).

Индустрия цветной металлургии, в том числе добывающего сектора, представляет собой одну из наиболее конкурентоспособных и прогрессивно развивающихся ветвей экономики Российской Федерации [1]. Функционирование предприятий цветной металлургии основывается на комплексе взаимодействующих технологических этапов, охватывающих добычу рудных источников, их обогащение, стадию металлургического передела, дальнейшую переработку, погрузочно-разгрузочные операции и транспортировку сырья и металлических продуктов. Однако в контексте промышленного производства данной сферы основным процессом является извлечение сырьевых ресурсов с целью их последующей переработки, что предопределяет ключевые вредные производственные элементы, влияющие на состояние здоровья персонала, занятого на данных предприятиях.

По данным, полученным в результате проведения специальной оценки условий труда на рабочих местах в горнодобывающем сегменте цветной металлургической отрасли, более 75 % из них демонстрируют превышение гигиенических норм в отношении производственных факторов [2]. В результате многолетних научных изысканий было установлено наличие комплекса вредных химических элементов в воздухе рабочей зоны на предприятиях цветной металлургии. Отмечается повышенный уровень воздействия химических элементов, выделение аэрозольных веществ преимущественно фиброгенного действия (АПФД), что способствует развитию ряда патологических состояний органов и систем работников, включая заболевания органов дыхательной системы [3–8].

**Цель исследования** – анализ данных о влиянии химических элементов воздушной среды рабочей зоны предприятий горнодобывающего сектора металлургической промышленности на состояние здоровья работников.

**Материалы и методы.** Анализ данных из авторитетных научно-практических изданий и релевантной научно-технической литературы проводился на основе статей, опубликованных в научных электронных библиотеках Elibrary, CyberLeninka, а также поисковике по биомедицинским исследованиям PubMed, библиографических базах данных Scopus, Web of Science, MEDLINE, RSCI. Был изучен массив исследований, направленных на изучение текущего состояния вопросов, связанных с условиями труда и заболеваемостью работников подземных подразделений, занятых в добыче цветных металлов. В целях оптимизации поиска и соответствия результатов обзора установленным критериям авторами использовались дескрипторы с терминами

«предприятия цветной металлургии», «условия труда», «профессиональная и профессионально обусловленная заболеваемость». Критерии отбора и целесообразность включения публикаций в обзор определялись на основании наличия в статье сведений о связи химического фактора со степенью заболеваемости, а также на основании коллективного экспертного мнения авторов обзора. Заключение этической экспертизы для данной работы не требовалось.

**Результаты и их обсуждение.** К ведущим вредным факторам производственной среды и трудового процесса работников подземных специальностей предприятий по добыче руд цветных металлов относят ингаляционное воздействие АПФД, пыли и химических веществ; интенсивный производственный шум; воздействие повышенных уровней вибрации; высокую степень тяжести и напряженности трудового процесса [3, 4, 9, 10]. Исследования показывают, что общая оценка условий труда подземных горнорабочих (проходчики, взрывники, машинисты буровых установок, оборщики горных выработок) характеризуется сочетанным воздействием производственных факторов и соответствует 3.2–3.4 классу условий труда [11–13]. Данные классы условий труда соответствуют категориям априорного риска от среднего до очень высокого в соответствии с руководством Р 2.2.3969-23<sup>1</sup>.

В горнорудных работах при бурении и взрывных операциях, измельчении и размоле полученного сырья образуется значительное количество пылевых частиц в воздухе рабочей зоны. Концентрации пыли и аэрозолей в случае превышения допустимых значений могут оказывать фиброгенное воздействие [14], токсическое, раздражающее и аллергическое влияние [15]. В профессии подземного горнорабочего часто отмечается широкий спектр заболеваний дыхательной системы, таких как пневмокониоз, острые и хронические пылевые бронхиты [15]. Результаты исследований отечественных ученых подкрепляют данные зарубежных коллег, например, изучение профессиональных заболеваний подземных рабочих, вызванных воздействием пыли, показывает, что пневмокониоз распространен среди горняков Америки, Китая и Южной Африки [16–19].

В структуре нозологий, приводящих к временной утрате трудоспособности среди работников горнодобывающих предприятий, занятых в сфере добычи цветных металлов, среди заболеваний дыхательной системы преобладают острый и хронический бронхиты [20, 21].

Гигиеническая оценка производственных условий показывает, что образующаяся в ходе основных технологических процессов металлургического

<sup>1</sup> Р 2.2.3969-23. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 07.09.2023. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. – 77 с.

производства пыль отличается высокой степенью дисперсности и включает более 80 % частиц размером менее 1 мк. Высокие уровни концентрации пыли, диоксида серы, металлического никеля, никелевых гидроаэрозолей и свинца обнаруживаются при переработке сульфидных медно-никелевых руд в плавильных помещениях, агломерационных и фاینштейн-разделительных цехах и т. д. Процессы измельчения, дробления и обработки материалов с использованием механических и термических методов сопровождаются значительным образованием промышленных аэрозолей, которые попадают в рабочую зону [22]. В добывающей отрасли это касается дробильного оборудования, но также относится к использованию печей обжига и плавки, где в половине проб концентрация силикатосодержащей пыли и аэрозолей при изготовлении титановых сплавов превышает предельно допустимые нормы, а концентрации каолинового шамота варьируются в диапазоне от 1,4 до 150,0 мг/м<sup>3</sup> при среднесуточном ПДК 8,0 мг/м<sup>3</sup> [23].

Высокий уровень соматической заболеваемости на фоне существенной канцерогенной нагрузки за счет производственной среды, связанной с медно-никелевым производством, требует проведения мониторинга онкологических заболеваний. Наиболее высокие показатели индивидуального канцерогенного риска среди рабочих были выявлены в отношении развития злокачественных новообразований ободочной кишки (величина риска –  $7,7 \cdot 10^{-3}$ ) и рака желудка (величина риска –  $5,9 \cdot 10^{-3}$ ). У горнорабочих были отмечены наиболее высокие значения риска в отношении рака легких (величина риска –  $1,07 \cdot 10^{-3}$ ) и злокачественных новообразований толстой кишки (величина риска –  $1,06 \cdot 10^{-3}$ ) [24]. Наряду с этим ряд химических соединений, таких как цинк, кадмий, мышьяк, сурьма, медь, свинец и другие, способны влиять на центральную нервную систему, вызывая увеличение времени слухомоторных и зрительно-моторных реакций, снижая подвижность нервных процессов в анализаторных системах [25–26].

У работников медно-никелевой промышленности, помимо болезней дыхательной системы, регистрируются патологии кожных покровов и подкожной жировой клетчатки. К ним относятся контактные дерматиты, онихомикозы, себорея и псориаз. Показано, что частота кожных заболеваний у лиц, работающих в карбонильной переработке никеля, превышает таковую у горняков и работников электролизной переработки меди ( $p < 0,02$ ) [27]. Анализ данных углубленных медосмотров работников позволил установить, что сердечно-сосудистые заболевания занимают одно из лидирующих мест как в структуре производственно обусловленной, так и в структуре профессиональной патологии. У рабочих, занятых в производстве легких и редких цветных металлов, с трудовым стажем свыше 15 лет была выявлена высокая профессиональная обусловленность развития артериальной гипертензии с этиоло-

гической ролью производственных факторов – 65,5 % [28–31].

При выполнении работ по погрузке и транспортировке рудного материала задействованы водители погрузчиков и другой большегрузной дизельной спецтехники, а также операторы дорожно-строительной и землеройной техники. Условия труда этих работников значительно отличаются от условий, в которых работают подземные горняки и рабочие основных профессий. Воздух рабочих зон водителей и машинистов самоходных горных машин содержит оксиды азота, акролеин и формальдегид в концентрациях, которые могут в 2–3 раза превышать предельно допустимые значения [32]. Внутри кабины экскаватора, где не предусмотрено средств борьбы с пылью, ее концентрация варьируется от 4 до 25 мг на 1 м<sup>3</sup>, а в области выполнения экскаваторных работ может достигать сотен мг на 1 м<sup>3</sup>. Большая часть пыли и аэрозолей (80–90 %) в пределах рабочей области обладает фиброгенными свойствами, что обуславливает высокий уровень профессионального пневмокониоза и хронических пылевых бронхитов в результате воздействия фиброгенной пыли и частого переохлаждения, а также воздействия раздражающих газов и токсических веществ [33].

Фактор риска развития респираторной патологии у шахтеров Норильского региона – это воздействие пыли сульфидных медных и никелевых руд с содержанием свободного кремнезема до 1 % в сочетании с некомфортным микроклиматом. Концентрация пыли достигает 4,3 мг на 1 м<sup>3</sup> во время бурения и проходки и 6,75 мг на 1 м<sup>3</sup> при разгрузке горных пород (класс условий труда 3.2–3.3, высокий и очень высокий риск). Концентрация пыли на рабочих местах подземных сварщиков достигает 6–7,2 мг на 1 м<sup>3</sup>, хромового ангидрида – 0,29–0,35 мг на 1 м<sup>3</sup> и оксидов марганца – 0,149–0,5 мг на 1 м<sup>3</sup> (класс 3.4, очень высокий риск) [34].

В научной литературе имеется множество данных, касающихся исследования качественного состава пыли, характерной для горно-выемочных работ. В качестве приоритетных элементов, определяемых при проведении горно-выемочных работ Арктической зоны, выделяют соединения меди и никеля [35]. К основным клиническим проявлениям избыточного поступления в организм человека меди относятся: функциональные расстройства центральной нервной системы; медная лихорадка; слезотечение, раздражение конъюнктивы и слизистых оболочек; желудочно-кишечные расстройства; нарушения функций печени и почек. Вместе с тем ряд авторов указывает, что у меди нет значимых воздействий на органы дыхания человека [36, 37]. Никель как одно из основных веществ, определяемых в воздухе рабочей зоны, обладает канцерогенным, токсическим и аллергическим действием [38–41]. Ингаляционное поступление водорастворимых соединений никеля может вызывать раздражение носа и придаточных



пазух носа, а также может привести к потере обоняния и перфорации носовой перегородки. Вдыхание нерастворимых соединений никеля вызывает развитие рака [42–44]. Помимо меди и никеля, в воздухе рабочей зоны определяются микро- и наночастицы мышьяка, свинца, кадмия, селена, таллия, цинка [45], которые могут являться причиной развития патологии органов дыхания, нервной и иммунной систем. В составе рудничного аэрозоля также определяются такие приоритетные загрязнители, как оксид азота, оксид углерода, тринитротолуол, бенз(а)пирен [46].

Среди основных веществ, содержащихся в воздухе рабочей зоны горнодобывающей отрасли промышленности, присутствуют канцерогенные вещества (в соответствии с руководством Р 2.1.10.3968-23<sup>2</sup>): никель и его соединения, свинец, формальдегид, кадмий, бенз(а)пирен. Отмечается одностороннее действие сернистого ангидрида, никеля и его соединений, оксидов азота, акролеина, формальдегида, кадмия, взвешенных веществ, в том числе АПФД на органы дыхания. На нервную систему способны оказывать влияние марганец и его соединения, свинец, селен. На систему крови негативно влияют никель и его соединения, свинец, оксид углерода. Оксид углерода и селен способны вызывать негативные ответы со стороны сердечно-сосудистой системы.

**Выводы.** Условия работы на предприятиях горнодобывающего сектора металлургической промышленности характеризуются высоким уровнем ингаляционного воздействия промышленных аэрозолей, пыли и химических веществ. В контексте добычи рудного сырья цветных металлов работники

подземных подразделений, такие как горнорабочие, проходчики, бурильщики, операторы погрузочно-доставочных машин и операторы буровых установок, подвергаются воздействию вредных веществ на рабочих местах. Основные типы заболеваний, связанных с воздействием вредных веществ на рабочем месте, включают заболевания дыхательной системы, такие как пневмокониоз, хронический бронхит, бронхиальная астма и хроническая обструктивная болезнь легких, а также онкологические заболевания легких и верхних дыхательных путей.

В качестве приоритетных критических органов и систем при оценке профессионального аэрогенного риска для здоровья работников горнодобывающего сектора металлургической промышленности следует рассматривать органы дыхания, нервную систему, иммунную систему, систему крови и сердечно-сосудистую систему. Среди потенциальных ответов со стороны здоровья работников можно ожидать развития болезней кожи и подкожной клетчатки, крови и центральной нервной системы. Таким образом, на предприятиях цветной металлургии, в частности горнодобывающего сектора, при планировании комплекса профилактических мероприятий целесообразно выявление групп заболеваний, связанных с условиями труда, обусловленных в том числе присутствием специфического химического фактора, влияющего на риски для здоровья работников.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Дюндик К.А. Эффективная система промышленной безопасности компании «Норникель» // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. – 2016. – № 1. – С. 67–72.
2. Гигиеническая оценка условий труда и профессиональной заболеваемости работников горнодобывающей промышленности в Арктической зоне Норильского промышленного района / Д.В. Горяев, А.Г. Фадеев, П.З. Шур, В.А. Фокин, Н.В. Зайцева // Анализ риска здоровью. – 2023. – № 2. – С. 88–94. DOI: 10.21668/health.risk/2023.2.08
3. Медицина труда работников подземных профессий производства добычи полиметаллических медно-цинковых руд / Э.Р. Шайхлисламова, Л.К. Каримова, А.Д. Волгарева, Н.А. Мулдашева // Санитарный врач. – 2020. – № 5. – С. 9–23. DOI: 10.33920/med-08-2005-01
4. Fan Z., Xu F. Health risks of occupational exposure to toxic chemicals in coal mine workplaces based on risk assessment mathematical model based on deep learning. // Environmental Technology & Innovation. – 2021. – Vol. 22. – P. 101500. DOI: 10.1016/j.eti.2021.101500
5. The relationship between psychosocial risk and occupational functioning among miners / A. Moscicka-Teske, J. Sadtowska-Wrzesinska, A. Najder, M. Butlewski // Int. J. Occup. Med. Environ. Health. – 2019. – Vol. 32, № 1. – P. 87–98. DOI: 10.13075/ijom.1896.01162
6. Marica L., Irimie S., Baleanu V. Aspects of occupational morbidity in the mining sector // Procedia Economics and Finance. – 2015. – Vol. 23. – P. 146–151. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00368-8
7. Талыкова Л.В., Быков В.Р. Исследование эффектов профессионального воздействия в условиях Арктической зоны (обзор литературы) // Российская Арктика. – 2021. – № 3 (14). – С. 41–53. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-3-00-04
8. Чеботарёв А.Г., Семенцова Д.Д. Комплексная оценка условий труда и состояния профессиональной заболеваемости работников горно-металлургических предприятий // Горная промышленность. – 2021. – № 1. – С. 114–119. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-114-119

<sup>2</sup> Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 06.09.2023 г. [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/408644981/> (дата обращения: 17.04.2024).

9. Чеботарев А.Г. Современные условия труда на горнодобывающих предприятиях и пути их нормализации // Горная промышленность. – 2012. – № 2 (102). – С. 84–88.
10. Сюрин С.А. Риски здоровью при добыче полезных ископаемых в Арктике // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2020. – № 11 (332). – С. 55–61. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-332-11-55-61
11. Хлусова В.П. Профессиональные риски в горнодобывающей промышленности и методы их снижения // Образование, наука, производство: сборник научных трудов VII Международного молодежного форума. – Белгород, 2015. – С. 461–465.
12. Горленко Н.В., Мурзин М.А. Сравнительный анализ профессиональных рисков работников предприятий Иркутской области по добыче полезных ископаемых // XXI век. Техносферная безопасность. – 2018. – Т. 3, № 4 (12). – С. 23–31. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-4-23-31
13. Головкова Н.П., Котова Н.И., Чеботарев А.Г. Оценка уровня профессионального риска у работников горно-металлургических предприятий по результатам специальной оценки условий труда // Современные проблемы медицины труда: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию академика РАН Н.Х. Амирова. – Казань: Казанский ГМУ; ФГБНУ «НИИ МТ», 2019. – С. 51–54. DOI: 10.31089/978-5-6042929-0-7-2019-1-51-54
14. Research status of pathogenesis of pneumoconiosis and dust control technology in mine – A review / G. Liu, Q. Xu, J. Zhao, W. Nie, Q. Guo, G. Ma // Appl. Sci. – 2021. – Vol. 11, № 21. – P. 10313. DOI: 10.3390/app112110313
15. Бухтияров И.В., Чеботарев А.Г. Гигиенические проблемы улучшения условий труда на горнодобывающих предприятиях // Горная промышленность. – 2018. – № 5 (141). – С. 33–35. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-33-35
16. Potential determinants of coal workers pneumoconiosis, advanced pneumoconiosis, and progressive massive fibrosis among underground coal miners in the United States, 2005–2009 / A.S. Laney, E.L. Peterson, J.M. Hale, A.L. Wolfe, M.D. Attfield // Am. J. Public Health. – 2012. – Vol. 102, Suppl. 2. – P. S279–S283. DOI: 10.2105/AJPH.2011.300427
17. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Pneumoconiosis and advanced occupational lung disease among surface coal miners – 16 states, 2010–2011 // MMWR Morb. Mortal. Wkly Rep. – 2012. – Vol. 61, № 23. – P. 431–434.
18. Analysis on the incidence of coal workers pneumoconiosis from 2003 to 2008 in a coal mining group / Z.-F. Song, H.-Y. Qian, S.-S. Wang, X.-M. Jia, Y. Ye, C.-H. Ni // Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi. – 2011. – Vol. 29, № 1. – P. 56–58.
19. Cebi S., Karamustafa M. A New Fuzzy Based Risk Assessment Approach for the Analysis of Occupational Risks in Manufacturing Sector // Intelligent and Fuzzy Systems. INFUS 2022: Lecture Notes in Networks and Systems. – Cham: Springer, 2022. – Vol. 504. – P. 261–270. DOI: 10.1007/978-3-031-09173-5\_33
20. Сюрин С.А., Шилов В.В. Особенности нарушений здоровья горняков северных медно-никелевых рудников // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 5. – С. 455–459. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-5-455-459
21. Куренкова Г.В., Лемешевская Е.П. Гигиеническая характеристика условий труда в подземных сооружениях и их влияние на здоровье работников // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2015. – Т. 136, № 5. – С. 98–105.
22. Косьяченко Г.Е. Гигиеническая оценка условий труда при профессиональном контакте с аэрозолями преимущественно фиброгенного типа действия // Здоровье и окружающая среда. – 2010. – № 16. – С. 196–201.
23. Состояние здоровья работников обогатительных фабрик при современных технологиях обогащения полезных ископаемых и меры профилактики / А.В. Сухова, Е.А. Преображенская, А.В. Ильницкая, В.А. Кирьяков // Здравоохранение Российской Федерации. – 2017. – Т. 61, № 4. – С. 196–201. DOI: 10.18821/0044-197X-2017-61-4-196-201
24. Серебряков П.В. Использование оценки канцерогенного риска на горнорудных и металлургических предприятиях Заполярья // Гигиена и санитария. – 2012. – Т. 91, № 5. – С. 95–98.
25. Кулиниченко С.К. Функциональное состояние центральной нервной системы рабочих свинцового производства // Наука и здравоохранение. – 2012. – Т. 2. – С. 128–130.
26. Gunnarsson L.-G., Bodin L. Occupational exposures and neurodegenerative diseases – a systematic literature review and meta-analyses // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2019. – Vol. 16, № 3. – P. 337. DOI: 10.3390/ijerph16030337
27. Сюрин С.А., Петренко О.Д. Микозы медной горы. Особенности заболеваний кожи у работников медно-никелевой промышленности // Безопасность и охрана труда. – 2012. – № 3 (52). – С. 79–81.
28. Прогноз вероятностной оценки развития артериальной гипертензии у работников цветной металлургии в условиях сочетанного воздействия физических и физиологических производственных факторов / В.Э. Белицкая, М.И. Тиунова, А.Е. Носов, О.Ю. Устинова, Д.А. Кирьянов // Актуальные вопросы анализа риска при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под ред. А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. – Пермь, 2018. – С. 495–500.
29. Гурвич В.Б., Милованкина Н.О., Газимова В.Г. Диспансеризация работников металлургического производства с высоким сердечно-сосудистым риском как оптимальный метод первичной и вторичной профилактики // Современные проблемы медицины труда: сборник материалов всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию академика РАН Н.Х. Амирова. – Казань: Казанский ГМУ; ФГБНУ «НИИ МТ», 2019. – С. 66–68. DOI: 10.31089/978-5-6042929-0-7-2019-1-66-68
30. Factors of work environment hazardous for health in opinions of employees working underground in the 'Bogdanka' coal mine / J. Strzemecka, M. Gozdziowska, J. Skrodziuk, E.M. Galinska, S. Lachowski // Ann. Agric. Environ. Med. – 2019. – Vol. 26, № 3. – P. 409–414. DOI: 10.26444/aaem/106224
31. Оценка риска развития артериальной гипертонии в условиях воздействия шумового и химического факторов производства / И.Н. Федина, П.В. Серебряков, И.В. Смолякова, А.В. Мелентьев // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 2. – С. 21–25.
32. Бекеева С.А., Есбенбетова Ж.Х., Нургазиева А.Е. Адаптационный потенциал водителей большегрузных автосамосвалов в горнодобывающей промышленности // Наука и мир. – 2019. – № 2–1 (66). – С. 37–39.

33. Оценка условий труда работников горнорудной промышленности / М.Н. Садыков, Е.Ж. Отаров, Л.Х. Асенова, У.К. Маканова, А.Р. Айтмагамбетов, Л.В. Тыль // Медицина и экология. – 2017. – № 3 (84). – С. 71–73.
34. Профессиональные болезни рабочих в горнодобывающей промышленности / Г.М. Коршунов, З.Н. Черкай, Н.В. Мухина, Е.Б. Гридина, С.М. Скударнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S2–5. – С. 5–10.
35. Gorbanev S., Syurin S., Kovshov A. Features of Occupational Health Risks in the Russian Arctic (on the Example of Nenets Autonomous Okrug and Chukotka Autonomous Okrug) // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2021. – Vol. 18, № 3. – P. 1061. DOI: 10.3390/ijerph18031061
36. Cross-sectional Study of Workers Employed at a Copper Smelter-Effects of Long-term Exposures to Copper on Lung Function and Chronic Inflammation / L.-M. Haase, T. Birk, C.A. Poland, O. Holz, M. Miiller, A.M. Bachand, K.A. Mundt // J. Occup. Environ. Med. – 2022. – Vol. 64, № 9. – P. e550–e558. DOI: 10.1097/JOM.0000000000002610
37. Metal-Induced Pulmonary Fibrosis / N. Assad, A. Sood, M.J. Campen, K.E. Zychowski // Curr. Environ. Health Rep. – 2018. – Vol. 5, № 4. – P. 486–498. DOI: 10.1007/s40572-018-0219-7
38. Сюрин С.А., Гуцин И.В., Никанов А.Н. Профессиональная патология работников различных производств медно-никелевой промышленности Крайнего Севера // Экология человека. – 2012. – № 6. – С. 8–12.
39. Casarett L.J., Doull J., Klaassen C.D. Casarett and Doull's Toxicology: the basic science of poisons / ed. by C.D. Klaassen. – New York: McGraw-Hill, Medical Publishing Division, 2001. – P. 649–650, 837–839.
40. Exposure to different forms of nickel and risk of lung cancer / T.K. Grimsrud, S.R. Berge, T. Haldorsen, A. Andersen // Am. J. Epidemiol. – 2002. – Vol. 156, № 12. – P. 1123–1132. DOI: 10.1093/aje/kwf165
41. Nickel Carcinogenesis Mechanism: DNA Damage / H. Guo, H. Liu, H. Wu, H. Cui, J. Fang, Z. Zuo, J. Deng, Y. Li [et al.] // Int. J. Mol. Sci. – 2019. – Vol. 20, № 19. – P. 4690. DOI: 10.3390/ijms20194690
42. Nickel: Human Health and Environmental Toxicology / G. Genchi, A. Carocci, G. Lauria, M.S. Sinicropi, A. Catalano // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2020. – Vol. 17, № 3. – P. 679. DOI: 10.3390/ijerph17030679
43. Тамразова О.Б., Селезнев С.П. Аллергический контактный дерматит на никель // Медицинский совет. – 2022. – Т. 16, № 3. – С. 121–129. DOI: 10.21518/2079-701X-2022-16-3-121-129
44. Primary concept of nickel toxicity – an overview / K.K. Das, R.C. Reddy, I.B. Bagoji, S. Das, S. Bagali, L. Mullur, J.P. Khodnapur, M.S. Biradar // J. Basic Clin. Physiol. Pharmacol. – 2018. – Vol. 30, № 2. – P. 141–152. DOI: 10.1515/jbcpp-2017-0171
45. Касиков А.Г. Пылевые выбросы медно-никелевого производства и последствия их воздействия на организм человека в условиях Крайнего Севера // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2017. – Т. 9, № 4. – С. 58–63.
46. Biessikurski A., Dworzak M., Twardosz M. Composition of Fumes and Its Influence on the General Toxicity and Applicability of Mining Explosives // Mining. – 2023. – Vol. 3, № 4. – P. 605–617. DOI: 10.3390/mining3040033

*Вредные вещества в воздухе рабочей зоны горнодобывающего сектора металлургической промышленности как факторы риска для здоровья работников (аналитический обзор) / А.Г. Фадеев, Д.В. Горяев, П.З. Шур, Н.В. Зайцева, В.А. Фокин, С.В. Редько // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 153–161. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.14*

UDC 613.6.027

DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.14.eng



Review

## HARMFUL CHEMICALS IN OCCUPATIONAL AIR IN THE ORE MINING SECTOR OF THE METAL INDUSTRY AS OCCUPATIONAL HEALTH RISK FACTORS (ANALYTICAL REVIEW)

**A.G. Fadeev<sup>1</sup>, D.V. Goryaev<sup>1</sup>, P.Z. Shur<sup>2</sup>, N.V. Zaitseva<sup>2</sup>, V.A. Fokin<sup>2</sup>, S.V. Red'ko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Krasnoyarsk Regional Office of the Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 21 Karatanova St., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

<sup>2</sup>Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya St., Perm, 614045, Russian Federation

*Working conditions at non-ferrous metallurgical enterprises typically involve exposure to a whole set of harmful chemicals present in occupational air. These chemicals contribute to the development of pathologies in workers, respiratory diseases in particular. Research literature was analyzed using bibliographic databases in order to summarize available information on effects produced by harmful chemicals in workplace air on health of workers employed at mining enterprises.*

*Respiratory diseases such as pneumoconiosis, acute and chronic dust bronchitis prevail among occupational pathologies typical for underground miners. Acute and chronic bronchitis prevail among respiratory diseases as health disorders resulting in temporary disability of miners dealing with non-ferrous metal mining. Huge amounts of dust appear in occupational air at mining enterprises due to drilling, blasting and ore crushing. Priority chemicals found in workplace air in mining industry include several carcinogens such as nickel, lead, formaldehyde, cadmium, and benzo(a)pyrene. There is a unidirectional effect produced by sulfur dioxide, nickel, nitrogen oxides, acrolein, formaldehyde, cadmium, and particular matter on the respiratory organs. The nervous system can be affected by manganese, lead, and selenium; the blood, by nickel, lead, and carbon oxide; the cardiovascular system, by carbon oxide and selenium.*

*Working conditions of underground miners in non-ferrous metallurgy involve intensive exposure to chemicals in occupational air, which create health risks of occupational respiratory diseases and malignant tumors. Diseases of the nervous, immune, cardiovascular systems and the blood are also possible. When planning a set of preventive activities, it is advisable to identify groups of work-related diseases caused, among other things, by a specific chemical factor.*

**Keywords:** chemicals, occupational risk, workplace air, respiratory diseases, mining industry, working conditions, non-ferrous metallurgy enterprises, risk factor.

## References

1. Dyundik C. Effective system of industrial safety of the Norilsk Nickel company. *Nauchnyi vestnik oboronno-promyshlennogo kompleksa Rossii*, 2016, no. 1, pp. 67–72 (in Russian).
2. Goryaev D.V., Fadeev A.G., Shur P.Z., Fokin V.A., Zaitseva N.V. Hygienic assessment of working conditions and occupational incidence among mining workers in the Arctic zone of the Norilsk industrial area. *Health Risk Analysis*, 2023, no. 2, pp. 88–94. DOI: 10.21668/health.risk/2023.2.08.eng
3. Shaikhislamova E.R., Karimova L.K., Volgareva A.D., Muldasheva N.A. Occupational health of workers in underground occupations producing polymetallic copper-zinc ores. *Sanitarnyi vrach*, 2020, no. 5, pp. 9–23. DOI: 10.33920/med-08-2005-01 (in Russian).
4. Fan Z., Xu F. Health risks of occupational exposure to toxic chemicals in coal mine workplaces based on risk assessment mathematical model based on deep learning. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, vol. 22, pp. 101500. DOI: 10.1016/j.eti.2021.101500
5. Mosciacka-Teske A., Sadtowska-Wrzesinska J., Najder A., Butlewski M. The relationship between psychosocial risk and occupational functioning among miners. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, 2019, vol. 32, no. 1, pp. 87–98. DOI: 10.13075/ijom.1896.01162
6. Marica L., Irimie S., Baleanu V. Aspects of occupational morbidity in the mining sector. *Procedia Economics and Finance*, 2015, vol. 23, pp. 146–151. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00368-8
7. Talykova L.V., Bykov V.R. Study of the effect of occupational exposure at the Arctic zone (literature review). *Rossiiskaya Arktika*, 2021, no. 3 (14), pp. 41–53. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-3-00-04 (in Russian).
8. Chebotarev A.G., Sementsova D.D. Comprehensive Assessment of Working Conditions and Occupational Disease Rates at Mining and Metallurgical Enterprises. *Gornaya promyshlennost'*, 2021, no. 1, pp. 114–119. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-114-119 (in Russian).
9. Chebotarev A.G. Current working environment at mines and ways of its improvement. *Gornaya promyshlennost'*, 2012, no. 2 (102), pp. 84–88 (in Russian).
10. Syurin S.A. Health risks of mining in the Arctic. *ZNiSO*, 2020, no. 11 (332), pp. 55–61. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-332-11-55-61 (in Russian).
11. Hlusova V.P. Professional'nye riski v gornodobyvayushchei promyshlennosti i metody ikh snizheniya [Occupational risks in the mining industry and methods of reducing them]. *Obrazovanie, nauka, proizvodstvo: sbornik nauchnykh trudov VII Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma*, Belgorod, 2015, pp. 461–465 (in Russian).
12. Gorlenko N.V., Murzin M.A. Comparative analysis of occupational risks for mining employees in Irkutsk region. *XXI Vek. Tekhnosfermaya bezopasnost'*, 2018, vol. 3, no. 4 (12), pp. 23–31. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-4-23-31 (in Russian).

© Fadeev A.G., Goryaev D.V., Shur P.Z., Zaitseva N.V., Fokin V.A., Red'ko S.V., 2024

**Aleksei G. Fadeev** – Head of the Department for Supervision of Working Conditions (e-mail: onut@24.rospotrebnadzor.ru; tel.: +7 (391) 227-66-43; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1712-9196>).

**Dmitrii V. Goryaev** – Candidate of Medical Sciences, Head of the Administration, Chief State Sanitary Inspector for the Krasnoyarsk region (e-mail: office@24.rospotrebnadzor.ru; tel.: +7 (391) 226-89-50; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6450-4599>).

**Nina V. Zaitseva** – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific Director (e-mail: znv@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-25-34; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

**Pavel Z. Shur** – Doctor of Medical Sciences, Chief Researcher-Academic Secretary (e-mail: shur@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105>).

**Svetlana V. Red'ko** – Senior Researcher at the Health Risk Analysis Department (e-mail: redkosv@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 238-33-37; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2736-5013>).

**Vladimir A. Fokin** – Researcher at the Health Risk Analysis Department (e-mail: fokin@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0539-7006>).

13. Golovkova N.P., Kotova N.I., Chebotarev A.G. Otsenka urovnya professional'nogo riska u rabotnikov gorno-metallurgicheskikh predpriyatiy po rezul'tatam spetsial'noi otsenki uslovii truda [Assessment of the occupational risk level among workers at mining and metallurgical enterprises based on the results of a special assessment of working conditions]. *Sovremennye problemy meditsiny truda: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 80-letiyu akademika RAN N.Kh. Amirova*. Kazan', Kazanskii GMU; FGBNU «NII MT», 2019, pp. 51–54. DOI: 10.31089/978-5-6042929-0-7-2019-1-51-54 (in Russian).
14. Liu G., Xu Q., Zhao J., Nie W., Guo Q., Ma G. Research status of pathogenesis of pneumoconiosis and dust control technology in mine – A review. *Appl. Sci.*, 2021, vol. 11, no. 21, pp. 10313. DOI: 10.3390/app112110313
15. Bukhtiyarov I.V., Chebotarev A.G. Gigienicheskie problemy uluchsheniya uslovii truda na gornodobyvayushchikh predpriyatiyakh [Hygienic problems of improving working conditions at mining enterprise]. *Gornaya promyshlennost'*, 2018, no. 5 (141), pp. 33–35. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-33-35 (in Russian).
16. Laney A.S., Petsonk E.L., Hale J.M., Wolfe A.L., Attfield M.D. Potential determinants of coal workers pneumoconiosis, advanced pneumoconiosis, and progressive massive fibrosis among underground coal miners in the United States, 2005–2009. *Am. J. Public Health*, 2012, vol. 102, suppl. 2, pp. S279–S283. DOI: 10.2105/AJPH.2011.300427
17. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Pneumoconiosis and advanced occupational lung disease among surface coal miners – 16 states, 2010–2011. *MMWR Morb. Mortal. Wkly Rep.*, 2012, vol. 61, no. 23, pp. 431–434.
18. Song Z.F., Qian H.Y., Wang S.S., Jia X.-M., Ye Y., Ni C.-H. [Analysis on the incidence of coal workers pneumoconiosis from 2003 to 2008 in a coal mining group]. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi*, 2011, vol. 29, no. 1, pp. 56–58 (in Chinese).
19. Cebi S., Karamustafa M. A New Fuzzy Based Risk Assessment Approach for the Analysis of Occupational Risks in Manufacturing Sector. *Intelligent and Fuzzy Systems. INFUS 2022: Lecture Notes in Networks and Systems*. Cham, Springer Publ., 2022, vol. 504, pp. 261–270. DOI: 10.1007/978-3-031-09173-5\_33
20. Siurin S.A., Shilov V.V. Features of health disorders in miners employed at northern copper-nickel mines. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 5, pp. 455–459. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-5-455-459 (in Russian).
21. Kurenkova G.V., Lemeshevskaya E.P. Hygienic characteristics of working conditions in underground structures and their impact on the health of workers. *Sibirskii meditsinskii zhurnal (Irkutsk)*, 2015, vol. 136, no. 5, pp. 98–105 (in Russian).
22. Kosjachenko G.E. Hygienic assessment conditions during professional contact with aerosols predominantly fibrogenic action type. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda*, 2010, no. 16, pp. 196–201 (in Russian).
23. Sukhova A.V., Preobrazhenskaya E.A., Il'nitskaya A.V., Kir'yakov V.A. The health of workers of concentrating mills by modern technologies of concentration of minerals and prevention measures. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*, 2017, vol. 61, no. 4, pp. 196–201. DOI: 10.18821/0044-197X-2017-61-4-196-201 (in Russian).
24. Serebryakov P.V. Using the evaluation of carcinogenic risk in the mining and metallurgical enterprises of the Arctic. *Gigiena i sanitariya*, 2012, vol. 91, no. 5, pp. 95–98 (in Russian).
25. Kulinichenko S.K. The functional state of the central nervous system lead production workers. *Nauka i zdravookhranenie*, 2012, vol. 2, pp. 128–130 (in Russian).
26. Gunnarsson L.-G., Bodin L. Occupational exposures and neurodegenerative diseases – a systematic literature review and meta-analyses. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2019, vol. 16, no. 3, pp. 337. DOI: 10.3390/ijerph16030337
27. Syurin S.A., Petrenko O.D. Mikozy mednoi gory. Osobennosti zabolevanii kozhi u rabotnikov medno-nikelevoi promyshlennosti [Features of skin diseases in copper-nickel industry workers]. *Bezopasnost' i okhrana truda*, 2012, no. 3 (52), pp. 79–81 (in Russian).
28. Belitskaya V.J., Tiunova M.I., Nosov A.E., Ustinova O.J., Kiryanov D.A. Prognoz veroyatnostnoi otsenki razvitiya arterial'noi gipertenzii u rabotnikov tsvetnoi metallurgii v usloviyakh sochetannogo vozdeistviya fizicheskikh i fiziologicheskikh proizvodstvennykh faktorov [A prognosis of probabilistic assessment of the development of essential hypertension in non-ferrous metallurgy workers under combined exposure to physical and physiological production factors]. *Aktual'nye voprosy analiza riska pri obespechenii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya i zashchity prav potrebiteli: materialy VIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Actual issues of risk analysis in ensuring the sanitary and epidemiological well-being of the population and the protection of consumer rights: materials of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation]*. In: A.Yu. Popova, N.V. Zaitseva eds. Perm, 2018, pp. 495–500 (in Russian).
29. Gurvich V.B., Milovankina N.O., Gazimova V.G. Dispanserizatsiya rabotnikov metallurgicheskogo proizvodstva s vysokim serdechno-sosudistym riskom kak optimal'nyi metod pervichnoi i vtorichnoi profilaktiki [Clinical examination of metal industry workers with high cardiovascular risk as the optimal method of primary and secondary prevention]. *Sovremennye problemy meditsiny truda: sbornik materialov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 80-letiyu akademika RAN N.Kh. Amirova*, Kazan', Kazanskii GMU; FGBNU «NII MT», 2019, pp. 66–68. DOI: 10.31089/978-5-6042929-0-7-2019-1-66-68 (in Russian).
30. Strzemecka J., Gozdziwska M., Skrodziuk J., Galinska E.M., Lachowski S. Factors of work environment hazardous for health in opinions of employees working underground in the 'Bogdanka' coal mine. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 2019, vol. 26, no. 3, pp. 409–414. DOI: 10.26444/aaem/106224
31. Fedina I.N., Serebryakov P.V., Smolyakova I.V., Melent'ev A.V. Evaluation of arterial hypertension risk under exposure to noise and chemical occupational hazards. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 2, pp. 21–25 (in Russian).
32. Bekeyeva S.A., Yesbenbetova J.H., Nurgazyeva A.E. Adaptation potential of drivers of the large dump trucks in mining industry. *Nauka i mir*, 2019, no. 2–1 (66), pp. 37–39 (in Russian).
33. Sadykov M.N., Otarov E.Z., Asenova L.Kh., Makanova U.K., Aitmagambetov A.R., Tyl L.V. Hygienic assessment of employees of mining and ore industry. *Meditsina i ekologiya*, 2017, no. 3 (84), pp. 71–73 (in Russian).

34. Korshunov G.L., Cherkay Z.N., Mukhina N.V., Gridina E.B., Skudarnov S.M. Professional diseases of workers in the mining industry. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, 2012, no. S2–5, pp. 5–10 (in Russian).
35. Gorbanev S., Syurin S., Kovshov A. Features of Occupational Health Risks in the Russian Arctic (on the Example of Nenets Autonomous Okrug and Chukotka Autonomous Okrug). *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, no. 3, pp. 1061. DOI: 10.3390/ijerph18031061
36. Haase L.-M., Birk T., Poland C.A., Holz O., Miiller M., Bachand A.M., Mundt K.A. Cross-sectional Study of Workers Employed at a Copper Smelter-Effects of Long-term Exposures to Copper on Lung Function and Chronic Inflammation. *J. Occup. Environ. Med.*, 2022, vol. 64, no. 9, pp. 550–558. DOI: 10.1097/JOM.0000000000002610
37. Assad N., Sood A., Campen M.J., Zychowski K.E. Metal-Induced Pulmonary Fibrosis. *Curr. Environ. Health Rep.*, 2018, vol. 5, no. 4, pp. 486–498. DOI: 10.1007/s40572-018-0219-7
38. Syurin S.A., Gushchin I.V., Nikanov A.N. Occupational pathology of workers employed in different productions of copper-nickel industry in Far North. *Ekologiya cheloveka*, 2012, no. 6, pp. 8–12 (in Russian).
39. Casarett L.J., Doull J., Klaassen C.D. Casarett and Doull's Toxicology: the basic science of poisons. In: C.D. Klaassen ed. NY, McGraw-Hill, Medical Publishing Division, 2001, pp. 649–650, 837–839.
40. Grimsrud T.K., Berge S.R., Haldorsen T., Andersen A. Exposure to different forms of nickel and risk of lung cancer. *Am. J. Epidemiol.*, 2002, vol. 156, no. 12, pp. 1123–1132. DOI: 10.1093/aje/kwfl65
41. Guo H., Liu H., Wu H., Cui H., Fang J., Zuo Z., Deng J., Li Y. [et al.]. Nickel Carcinogenesis Mechanism: DNA Damage. *Int. J. Mol. Sci.*, 2019, vol. 20, no. 19, pp. 4690. DOI: 10.3390/ijms20194690
42. Genchi G., Carocci A., Lauria G., Sinicropi M.S., Catalano A. Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17, no. 3, pp. 679. DOI: 10.3390/ijerph17030679
43. Tamrazova O.B., Seleznev S.P. Nickel allergic contact dermatitis. *Meditinskii sovet*, 2022, vol. 16, no. 3, pp. 121–129. DOI: 10.21518/2079-701X-2022-16-3-121-129 (in Russian).
44. Das K.K., Reddy R.C., Bagoji I.B., Das S., Bagali S., Mullur L., Khodnapur J.P., Biradar M.S. Primary concept of nickel toxicity – an overview. *J. Basic Clin. Physiol. Pharmacol.*, 2018, vol. 30, no. 2, pp. 141–152. DOI: 10.1515/jbcpp-2017-0171
45. Kasikov A.G. Particulate emissions from copper-nickel production and the consequences of their impact on human body in the Far North. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*, 2017, vol. 9, no. 4, pp. 58–63 (in Russian).
46. Biessikirski A., Dworzak M., Twardosz M. Composition of Fumes and Its Influence on the General Toxicity and Applicability of Mining Explosives. *Mining*, 2023, vol. 3, no. 4, pp. 605–617. DOI: 10.3390/mining3040033

Fadeev A.G., Goryaev D.V., Shur P.Z., Zaitseva N.V., Fokin V.A., Red'ko S.V. Harmful chemicals in occupational air in the ore mining sector of the metal industry as occupational health risk factors (analytical review). *Health Risk Analysis*, 2024, no. 2, pp. 153–161. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.14.eng

Получена: 07.05.2024

Одобрена: 29.05.2024

Принята к публикации: 20.06.2024



Обзорная статья

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ СОТОВОЙ СВЯЗИ КАК ФАКТОРЫ РИСКА НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЦЕНТРАЛЬНУЮ НЕРВНУЮ СИСТЕМУ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ (ОБЗОР). ЧАСТЬ 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ. ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ И СЕНСОМОТОРНЫХ РЕАКЦИЙ

Н.И. Хорсева<sup>1</sup>, П.Е. Григорьев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Российская Федерация, 119334, г. Москва, ул. Косыгина, 4

<sup>2</sup>Севастопольский государственный университет, Российская Федерация, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

*Исследования возможных последствий воздействия электромагнитного поля радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) актуальны, поскольку современное подрастающее поколение стало активными пользователями новейших технологий. Дети и подростки особенно уязвимы к факторам электромагнитной природы, поэтому необходимо понимать последствия такого воздействия на организм.*

*Центральная нервная система (ЦНС) является одной из основных «мишеней» воздействия ЭМП РЧ. В большинстве случаев пользователи подносят мобильные телефоны (МТ) к голове, подвергая свой головной мозг непосредственному воздействию ЭМП РЧ.*

*Как показал анализ литературных данных, количество исследований в данной области невелико, тем не менее предлагаемые варианты оценки воздействия ЭМП РЧ на организм детей и подростков весьма разнообразны.*

*В данной части обзора рассмотрены различные виды моделирования. Это не только фантомные, воксельные модели, метод конечных разностей, но и новые подходы, такие как матрицы распределения, моделирование Монте-Карло и интегрированная радиочастотная модель, основанная на результатах магнитно-резонансной томографии головного мозга и другие методы.*

*Представлены результаты исследования электроэнцефалографии при воздействии ЭМП РЧ устройств мобильной связи. Полученные результаты разноречивы, однако в большинстве случаев выявляются изменения биоэлектрической активности мозга, в частности снижение альфа-ритма.*

*Поскольку характеристики сенсомоторных реакций достаточно четко отражают силовые отношения в коре головного мозга, сделан анализ изменений параметров простой слухомоторной и зрительно-моторной реакций у детей и подростков – пользователей мобильной связью. Кроме того, представлены результаты изменений работоспособности, утомления, длительности индивидуальной минуты и воспроизведения заданного ритма.*

**Ключевые слова:** электромагнитное поле радиочастотного диапазона, центральная нервная система, моделирование, электроэнцефалография, психофизиологические показатели, дети, подростки, фактор риска.

В настоящее время электромагнитные поля радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) уже являются постоянным источником техногенного загрязнения окружающей среды. В первую очередь к ним относятся излучения базовых станций мобильной связи. Они генерируют ЭМП РЧ круглосуточно, практически в течение всей жизни подвергают облучению все население, включая детей.

Кроме них, источниками ЭМП РЧ являются источники Wi-Fi, а также множества разнообразнейших гаджетов, к которым присоединяются технологии 5G. Даже если считать, что эти излучения имеют «меньшую интенсивность», на население, включая детей и подростков, их совокупное воздействие может индуцировать различные эффекты, которые трудно предсказать и оценить.

© Хорсева Н.И., Григорьев П.Е., 2024

**Хорсева Наталия Игоревна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физико-химических проблем радиобиологии и экологии (e-mail: sheridan1957@mail.ru; тел.: 8 (905) 782-87-17; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3444-0050>).

**Григорьев Павел Евгеньевич** – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры психологии (e-mail: grigorievp@cfuv.ru; тел.: 8 (978) 767-22-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7390-9109>).



В настоящее время накоплены данные о негативном влиянии ЭМП РЧ на все уровни организации – от молекулярного до целого организма. Но особое место в этом ряду исследований занимает оценка данного воздействия на детей и подростков как наиболее уязвимых к любым внешним воздействиям. Безусловно, в первую очередь, это касается их центральной нервной системы (ЦНС), и, несмотря на споры в этом вопросе [1], широкое распространение беспроводных устройств уже приводит к негативным последствиям [2–4].

В настоящее время изучение воздействия ЭМП РЧ на ЦНС детей и подростков ведется по нескольким направлениям: моделирование, через оценку параметров сенсомоторных реакций, показателей электроэнцефалографии (ЭЭГ) и когнитивных функций. Это связано с тем, что при использовании мобильных телефонов (МТ) дети и подростки подносят их к голове, и, следовательно, преимущественно исследования и направлены на выявление возможных негативных воздействий в первую очередь на ЦНС, и основной «мишенью» анализа является головной мозг. А если учесть, что активными пользователями гаджетов уже являются полугодовалые дети [5, 6], то оценка эффектов воздействия ЭМП РЧ на подрастающее поколение становится чрезвычайно актуальной.

**Моделирование воздействия ЭМП РЧ на детей и подростков.** Исходя из анализа имеющихся литературных данных, можно видеть, что число исследований в области моделирования воздействия ЭМП РЧ на ЦНС именно детей и подростков невелико, но их результаты весьма разнообразны.

Фантомные модели использовали P. Dimbylow et al. (модели 9-месячного, 11- и 14-летнего ребенка мужского пола и 4- и 8-летнего ребенка женского пола) [7] и B.B. Beard и W. Kainz (модель головы 7-летнего ребенка) [8]; воксельные модели – P. Dimbylow et al. (новорожденный женского пола) [9], R.P. Findlay et al. (ребенок 10 лет) [10]. Метод конечных разностей активно применялся в циклах работ O.P. Gandhi et al. [11–14] и J. Keshvari et al. (модели 3 и 7 лет) [15, 16], исследованиях J. Wiart (модели 5 и 8 лет) [17, 18], а также в работе M.S. Morelli et al. (ребенок мужского и женского пола) [19] для оценки поглощения радиочастотной (РЧ) энергии с частотой 28 ГГц в отношении использования смартфонов / планшетов.

Существуют и новые подходы к моделированию: матрицы распределения [20], запатентованные в 2017 г.<sup>1</sup>; моделирование Монте-Карло при анализе неопределенности использования мобильного телефона [21]; интегрированная радиочастотная модель, основанная на объемах мозга, полученных при ска-

нировании магнитно-резонансной томографии [22], через расчеты дозового моделирования [23–25], а также модель приповерхностной ткани, освещенной плоской волной, для оценки воздействия миллиметрового диапазона (технология 5G) [26].

Как видно из представленных данных, число исследований в области моделирования воздействия ЭМП РЧ с указанием возрастных особенностей невелико. Тем не менее полученные результаты дают основание для более пристального внимания к нагрузкам от электромагнитного излучения, которые получают дети и подростки, использующие современные гаджеты.

Безусловно, существуют инструментальные методы оценки воздействия ЭМП РЧ, но их анализ не входит в задачи данного обзора.

**Параметры электроэнцефалограммы (ЭЭГ) у детей и подростков.** Известно, что показатели ЭЭГ используются для изучения морфофункционального созревания мозга и его отдельных систем, поэтому регистрация возможных изменений параметров ЭЭГ у детей и подростков при воздействии ЭМП РЧ весьма актуальна. Однако, как показал анализ литературы, эти исследования немногочисленны. В частности, исследование воздействия 2G и 3G на респондентов разных возрастных групп показало, что увеличение амплитуды альфа-ритма было зарегистрировано только в группе подростков при действии 2G [27], а при синхронной регистрации ЭЭГ и когнитивных функций – снижение точности выполнения задания, которое у подростков было более выражено при действии 3G, по сравнению с 2G [28].

В цикле работ О.А. Вятлевой с соавт. при регистрации изменений ЭЭГ в группе детей 6–13 лет, даже при кратковременном (3 мин) воздействии ЭМП РЧ МТ, наблюдается значимый ЭЭГ-эффект в виде снижения абсолютной мощности альфа-ритма. Однако выраженность этого эффекта, как показали исследования, зависела от дозы ЭМП РЧ МТ и возраста респондентов. Так, эффект на ЭЭГ от МТ с плотностью потока энергии (ППЭ) около 100 мкВт/см<sup>2</sup> вызывал снижение альфа-ритма у всех респондентов, был билатеральным с ипсилатеральным преобладанием (со стороны источника излучения), что, как полагают авторы, свидетельствует о влиянии данной интенсивности излучения не только на поверхностные корковые зоны ипсилатерального полушария, но и на глубокие синхронизирующие структуры мозга. Менее интенсивный уровень ППЭ (менее 1 мкВт/см<sup>2</sup>) вызывал эффект на ЭЭГ лишь в группе детей 6–10 лет, имел локальный ипсилатеральный характер, что свидетельствует о воздействии излучения данной интенсивности на поверхностные отделы коры ипсилатерального полушария [29]. Кроме того, у ак-

<sup>1</sup> Способ измерения плотности потока энергии электромагнитного излучения мобильного телефона: патент RU 2 626 049 C1 / А.В. Бабалян, А.О. Карелин, Р.Г. Старун // Изобретения. Полезные модели. Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент). – М.: ФИПС, 2017. – Бюлл. 21. – 11 с.

тивных пользователей МТ (максимальная ППЭ более 100 мкВт/см<sup>2</sup>) вызывает не только угнетающее влияние на биоэлектрическую активность, связанную с глубокими отделами мозга, но и регистрируется ослабление генерализованной пароксизмальной активности с повышением активности высших симпатических центров регуляции сердечного ритма [30]. Также установлена связь между режимом пользования МТ, изменениями ЭЭГ, полученной суммарной дозой электромагнитного излучения и параметрами кратковременной слухоречевой памяти [31].

Однако существуют исследования, где никаких изменений со стороны параметров ЭЭГ и когнитивных процессов у подростков в возрасте 11–13 лет выявлено не было [32]. Эти выводы были сделаны также на основании результатов кратковременного воздействия ЭМП РЧ. Кроме того, позже этот же автор, но с другими соавторами, высказал мнение, что негативное влияние на когнитивные функции и показатели ЭЭГ соответствует исключительно тепловому механизму воздействия [33].

Тем не менее среди этих работ следует обратить внимание на исследование А.В. Гилева и О.Б. Гилевой [34], в котором проведено сравнение показателей ЭЭГ с одновременным решением арифметической, вербально-логической задач и задачи на пространственное мышление у 12-летних подростков, обучающихся в цифровой школе и в школе с преобладанием традиционных образовательных технологий. Так, у учеников традиционной школы при предъявлении экспериментальных задач происходит выраженное и правильно распределенное по регионам коры повышение биоэлектрической активности в тета- и бета-диапазонах, а у обучающихся в цифровой школе подъем мощности тета-ритма наблюдается только в полюсных отведениях. Это может свидетельствовать о дефицитности механизмов внимания, памяти, мотивации и целенаправленного поведения, которые выразились в низкой эффективности решения экспериментальных задач.

Поскольку цифровая школа подразумевает использование большого числа электронных средств обучения, которые, в свою очередь, являются источниками ЭМП РЧ, не исключено, что и общий электромагнитный фон при этих условиях обучения будет выше, чем при использовании традиционных форм обучения, и, как следствие, может привести к изменению параметров ЭЭГ и уровня когнитивных процессов.

Наряду с регистрацией параметров ЭЭГ существуют более простые методы, позволяющие дать оценку функционального состояния ЦНС. К ним можно отнести определение времени простых сенсомоторных реакций, которые часто используются в психофизиологических исследованиях, поскольку

достаточно четко отражают силовые отношения в коре головного мозга.

**Сенсомоторные реакции и другие психофизиологические показатели как критерии оценки влияния ЭМП РЧ на ЦНС детей и подростков.** Анализ возможности применения характеристик сенсомоторных реакций в качестве индикатора функционального состояния ЦНС изложен в обзорах С.В. Шутовой с соавт. [35], А.Н. Нехорошковой [36] с соавт. и исследовании S.S. Geertsen et al. [37].

Однако параметры сенсомоторных реакций для оценки воздействия ЭМП РЧ мобильных телефонов на ЦНС детей и подростков используются крайне редко.

Тем не менее наши исследования, которые проводятся с 2006 г. по настоящее время в рамках мониторинга психофизиологических показателей детей и подростков – пользователей мобильной связью, позволили установить закономерности изменения параметров сенсомоторных реакций у детей и подростков – пользователей мобильной связью.

Эффект увеличения времени простой слухомоторной реакции как при стерео-, так и при монопредъявлении звукового сигнала проявляется только при достижении определенного суммарного времени пользования ребенком мобильным телефоном: 360 мин при условии, что ребенок начал пользоваться мобильным телефоном в 7-летнем возрасте, и от 750 мин для детей в возрасте 9 лет. Впервые установлено, что у всех детей-пользователей МТ увеличено число нарушений фонематического восприятия (неправильное восприятие сходного звучания или сходства в артикуляции речевых звуков, проявляющееся в передаче / замене букв, перестановке слогов, неправильном чтении или произнесении слов и т.д.). И в 79,3 % случаев зарегистрирован контралатеральный эффект (на стороне, противоположной воздействию ЭМП РЧ мобильного телефона) [3]. Однако проявление контралатерального эффекта уменьшается с возрастом, а ипсилатеральный эффект увеличивается, но этот процесс не является линейным: величина трендов изменений параметров простой слухомоторной реакции может служить прогностическим критерием, изменяя время реакции на звуковой сигнал у пользователей мобильной связью<sup>2</sup>, а особенности проявления контралатерального и ипсилатерального эффекта для каждой возрастной группы зависят как от времени ежедневного использования мобильного телефона, так и от общей продолжительности его использования [38].

Кроме того, впервые показана связь показателей простой слухомоторной реакции с параметрами воспроизведения заданного ритма в трех частотных диапазонах – 1000; 750; 1500 мс – и длительностью индивидуальной минуты [39]. Эффекты увеличения

<sup>2</sup> Режим пользования мобильным телефоном и индивидуальные особенности проявления ипсилатеральных и контралатеральных эффектов простой слухомоторной реакции у детей. Пилотное мониторинговое исследование / Н.И. Хорсева, А.А. Скиданова, П.Е. Григорьев, Н.Ю. Шульженко // Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины. – 2018. – Т. 8, № 1. – С. 93–99.

времени реакции у детей и подростков, пользователей мобильной связью, зарегистрированы и для зрительно-моторной реакции<sup>3</sup>.

При сравнении динамики изменений слухо- и зрительно-моторных реакций было установлено, что более «чувствительным» показателем к воздействию излучения мобильного телефона можно считать время реакции на звуковой сигнал, т.е. показатели простой слухомоторной реакции. В частности, суммарное время пользования МТ для детей 7-летнего возраста, при котором выявляется увеличение времени реакции на световой сигнал, составляет 730 мин для зрительно-моторной реакции и 360 мин для простой слухомоторной реакции [3].

Кроме сенсомоторных реакций, для оценки функционального состояния ЦНС используются такие показатели, как утомляемость (через показатель мышечного напряжения, определяемый с помощью треметрии) и работоспособность (через показатели теппинг-теста). Установлено, что для детей и подростков, пользователей мобильной связью, было зарегистрировано увеличение показателя утомляемости на фоне снижения параметра работоспособности [3].

Следует особо отметить, что сенсомоторные реакции используются как опосредованные характеристики когнитивных процессов. Это связано с тем, что показатели «время реакции» и «точность реак-

ции» служат коррелятами компонента ЭЭГ головного мозга Р2 – когнитивных вызванных потенциалов – и указывают на степень зрелости процессов восприятия ребенка [40], которые зависят от пола [41]. И, как ранее подчеркивалось в обзоре А.Н. Нехорошковой с соавт. [36], методы измерения показателей сенсомоторных реакций весьма актуальны для психофизиологического изучения как когнитивной, так и эмоционально-личностной сферы человека.

**Выводы.** Проведенный анализ результатов исследований влияния ЭМП РЧ на ЦНС детей и подростков показал достаточно широкий диапазон подходов в регистрации данного влияния: от моделирования воздействия до изменений параметров ЭЭГ, сенсомоторных реакций, работоспособности, утомляемости.

Полученные результаты указывают на негативное воздействие на ЦНС подрастающего поколения, что в очередной раз подчеркивает необходимость разработки новых подходов к регламентации использования современных гаджетов, а также электромагнитной обстановки, в частности, в период обучения.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН (44.1 гос. № темы: 0084-2019-004).

**Конфликт интересов.** Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Controversies on electromagnetic field exposure and the nervous systems of children / A.A. Warille, M.E. Onger, A.P. Turkmen, Ö.G. Deniz, G. Altun, K.K. Yurt, B.Z. Altunkaynak, S. Kaplan // *Histol. Histopathol.* – 2016. – Vol. 31, № 5. – P. 461–468. DOI: 10.14670/HH-11-707
2. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Сотовая связь и здоровье: электромагнитная обстановка, радиобиологические и гигиенические проблемы, прогноз опасности. – М.: Экономика, 2016. – 574 с.
3. Григорьев Ю.Г., Хорсева, Н.И. Мобильная связь и здоровье детей. Оценка опасности применения мобильной связи детьми и подростками. Рекомендации детям и родителям. – М.: Экономика, 2014. – 230 с.
4. Grigoriev Y.G., Khorseva N.I. A Longitudinal Study of Psychophysiological Indicators in Pupils Users of Mobile Communications in Russia (2006–2017) // In book: *Mobile Communications and Public Health* / ed. by M. Markov. – Boca Raton: CRC Press, 2018. – P. 237–253. DOI: 10.1201/b22486-10
5. Exposure and Use of Mobile Media Devices by Young Children / H.K. Kabali, M.M. Irigoyen, R. Nunez-Davis, J.G. Budacki, S.H. Mohanty, K.P. Leister, R.L. Bonner Jr. // *Pediatrics.* – 2015. – Vol. 136, № 6. – P. 1044–1050. DOI: 10.1542/peds.2015-2151
6. Exposure to and use of mobile devices in children aged 1–60 months / A.O. Kılıç, E. Sari, H. Yucel, M.M. Oğuz, E. Polat, E.A. Acoglu, S. Senel // *Eur. J. Pediatr.* – 2019. – Vol. 178, № 2. – P. 221–227. DOI: 10.1007/s00431-018-3284-x
7. Dimbylow P., Bolch W. Whole-body-averaged SAR from 50 MHz to 4 GHz in the University of Florida child voxel phantoms // *Phys. Med. Biol.* – 2007. – Vol. 52, № 22. – P. 6639–6649. DOI: 10.1088/0031-9155/52/22/006
8. Beard B.B., Kainz W. Review and standardization of cell phone exposure calculations using the SAM phantom and anatomically correct head models Meta-Analysis // *Biomed. Eng. Online.* – 2004. – Vol. 3, № 1. – P. 34. DOI: 10.1186/1475-925X-3-34
9. Dimbylow P., Bolch W., Lee C. SAR calculations from 20 MHz to 6 GHz in the University of Florida newborn voxel phantom and their implications for dosimetry // *Phys. Med. Biol.* – 2010. – Vol. 55, № 5. – P. 1519–1530. DOI: 10.1088/0031-9155/55/5/017
10. Findlay R.P., Dimbylow P.J. SAR in a child voxel phantom from exposure to wireless computer networks (Wi-Fi) // *Phys. Med. Biol.* – 2010. – Vol. 55, № 15. – P. N405–N411. DOI: 10.1088/0031-9155/55/15/N01
11. Gandhi O.P., Kang G. Calculation of induced current densities for humans by magnetic fields from electronic article surveillance devices // *Phys. Med. Biol.* – 2001. – Vol. 46, № 11. – P. 2759–2771. DOI: 10.1088/0031-9155/46/11/301
12. Gandhi O.P. Electromagnetic fields: human safety issues // *Annu. Rev. Biomed. Eng.* – 2002. – Vol. 4. – P. 211–234. DOI: 10.1146/annurev.bioeng.4.020702.153447

<sup>3</sup> Хорсева Н.И., Григорьев Ю.Г., Горбунова Н.В. Изменение параметров зрительного анализатора детей-пользователей мобильной связью: лонгитюдное исследование // *Радиационная биология. Радиоэкология.* – 2014. – Т. 54, № 1. – С. 62–71. DOI: 10.7868/S0869803114010081

13. Exposure limits: the underestimation of absorbed cell phone radiation, especially in children / O.P. Gandhi, L.L. Morgan, A.A. de Salles, Y.-Y. Han, R.B. Herberman, D.L. Davis // *Electromagn. Biol. Med.* – 2012. – Vol. 31, № 1. – P. 34–51. DOI: 10.3109/15368378.2011.622827
14. Gandhi O.P., Kang G. Some present problems and a proposed experimental phantom for SAR compliance testing of cellular telephones at 835 and 1900 MHz // *Phys. Med. Biol.* – 2002. – Vol. 47, № 9. – P. 1501–1518. DOI: 10.1088/0031-9155/47/9/306
15. Keshvari J., Lang S. Comparison of radio frequency energy absorption in ear and eye region of children and adults at 900, 1800 and 2450 MHz // *Phys. Med. Biol.* – 2005. – Vol. 50, № 18. – P. 4355–4369. DOI: 10.1088/0031-9155/50/18/008
16. Keshvari J., Keshvari R., Lang S. The effect of increase in dielectric values on specific absorption rate (SAR) in eye and head tissues following 900, 1800 and 2450 MHz radio frequency (RF) exposure // *Phys. Med. Biol.* – 2006. – Vol. 51, № 6. – P. 1463–1477. DOI: 10.1088/0031-9155/51/6/007
17. Modeling of RF head exposure in children / J. Wiart, A. Hadjem, N. Gadi, I. Bloch, M.F. Wong, A. Pradier, D. Lautru, V.F. Hanna, C. Dale // *Bioelectromagnetics.* – 2005. – Suppl. 7. – P. S19–S30. DOI: 10.1002/bem.20155
18. Analysis of RF exposure in the head tissues of children and adults / J. Wiart, A. Hadjem, M.F. Wong, I. Bloch // *Phys. Med. Biol.* – 2008. – Vol. 53, № 13. – P. 3681–3695. DOI: 10.1088/0031-9155/53/13/019
19. Numerical Analysis of Electromagnetic Field Exposure from 5G Mobile Communications at 28 GHz in Adults and Children Users for Real-World Exposure Scenarios / M.S. Morelli, S. Gallucci, B. Siervo, V. Hartwig // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2021. – Vol. 18, № 3. – P. 1073. DOI: 10.3390/ijerph18031073
20. Оценка интенсивности электромагнитного излучения мобильных телефонов, воздействующего на голову человека / Н.И. Вторникова, А.В. Бабалян, А.О. Карелин, В.А. Иванов // *Ученые записки СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова.* – 2017. – Т. 24, № 4. – С. 75–81. DOI: 10.24884/1607-4181-2017-24-4-75-81
21. Uncertainty Analysis of Mobile Phone Use and Its Effect on Cognitive Function: The Application of Monte Carlo Simulation in a Cohort of Australian Primary School Children / C. Brzozek, K.K. Benke, B.M. Zeleke, R.J. Croft, A. Dalecki, C. Dimitriadis, J. Kaufman, M.R. Sim [et al.] // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2019. – Vol. 16, № 13. – P. 2428. DOI: 10.3390/ijerph16132428
22. Estimated whole-brain and lobe-specific radiofrequency electromagnetic fields doses and brain volumes in preadolescents / A. Cabré-Riera, H. El Marroun, R. Muetzel, L. van Wel, I. Liorni, A. Thielens, L.E. Birks, L. Pierotti [et al.] // *Environ. Int.* – 2020. – Vol. 142. – P. 105808. DOI: 10.1016/j.envint.2020.105808
23. Radiofrequency electromagnetic fields from mobile communication: Description of modeled dose in brain regions and the body in European children and adolescents / L.E. Birks, L. van Wel, I. Liorni, L. Pierotti, M. Guxens, A. Huss, M. Foerster, M. Capstick [et al.] // *Environ. Res.* – 2021. – Vol. 193. – P. 110505. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110505
24. Modelling of daily radiofrequency electromagnetic field dose for a prospective adolescent cohort / M. Eeftens, C. Shen, J. Sönnksen, C. Schmutz, L. van Wel, I. Liorni, R. Vermeulen, E. Cardis [et al.] // *Environ. Int.* – 2023. – Vol. 172. – P. 107737. DOI: 10.1016/j.envint.2023.107737
25. Association between estimated whole-brain radiofrequency electromagnetic fields dose and cognitive function in preadolescents and adolescents / A. Cabré-Riera, L. van Wel, I. Liorni, A. Thielens, L.E. Birks, L. Pierotti, W. Joseph, L. González-Safont [et al.] // *Int. J. Hyg. Environ. Health.* – 2021. – Vol. 231. – P. 113659. DOI: 10.1016/j.ijheh.2020.113659
26. Sacco G., Pisa S., Zhadobov M. Age-dependence of electromagnetic power and heat deposition in near-surface tissues in emerging 5G bands // *Sci. Rep.* – 2021. – Vol. 11, № 1. – P. 3983. DOI: 10.1038/s41598-021-82458-z
27. Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly / R.J. Croft, S. Leung, R.J. McKenzie, S.P. Loughran, S. Iskra, D.L. Hamblin, N.R. Cooper // *Bioelectromagnetics.* – 2010. – Vol. 31, № 6. – P. 434–444. DOI: 10.1002/bem.20583
28. Effects of 2G and 3G mobile phones on performance and electrophysiology in adolescents, young adults and older adults / S. Leung, R.J. Croft, R.J. McKenzie, S. Iskra, B. Silber, N.R. Cooper, B. O'Neill, V. Cropley [et al.] // *Clin. Neurophysiol.* – 2011. – Vol. 122, № 11. – P. 2203–2216. DOI: 10.1016/j.clinph.2011.04.006
29. Вятлева О.А., Текшева Л.М., Курганский А.М. Физиолого-гигиеническая оценка влияния мобильных телефонов различной интенсивности излучения на функциональное состояние головного мозга детей и подростков методом электроэнцефалографии // *Гигиена и санитария.* – 2016. – Т. 95, № 10. – С. 965–968. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-10-965-968
30. Вятлева О.А., Курганский А.М. Уровень излучения мобильных телефонов, используемых современными школьниками, и его влияние на биоэлектрическую активность мозга и вегетативную регуляцию сердечного ритма детей // *Экологические проблемы современности: выявление и предупреждение неблагоприятного воздействия антропогенно детерминированных факторов и климатических изменений на окружающую среду и здоровье населения: материалы Международного форума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды.* – М., 2017. – С. 93–94.
31. Вятлева О.А. Влияние длительного использования мобильного телефона у правого уха на межполушарную асимметрию альфа-ритма и слуховую память младших школьников // *Асимметрия.* – 2019. – Т. 13, № 3. – С. 28–39. DOI: 10.25692/ASY.2019.13.3.003
32. No increased sensitivity in brain activity of adolescents exposed to mobile phone-like emissions / S.P. Loughran, D.C. Benz, M.R. Schmid, M. Murbach, N. Kuster, P. Achermann // *Clin. Neurophysiol.* – 2013. – Vol. 124, № 7. – P. 1303–1308. DOI: 10.1016/j.clinph.2013.01.010
33. Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure and the Resting EEG: Exploring the Thermal Mechanism Hypothesis / S.P. Loughran, A. Verrender, A. Dalecki, C.A. Burdon, K. Tagami, J. Park, N.A.S. Taylor, R.J. Croft // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2019. – Vol. 16, № 9. – P. 1505. DOI: 10.3390/ijerph16091505
34. Гилев А.В., Гилева О.Б. Влияние ИКТ технологий обучения на биоэлектрическую активность головного мозга школьников // *Вестник психофизиологии.* – 2022. – № 2. – С. 59–73. DOI: 10.34985/h7833-6875-6818-z
35. Шутова С.В., Муравьева И.В. Сенсомоторные реакции как характеристика функционального состояния ЦНС // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки.* – 2013. – Т. 18, № 5–3. – С. 2831–2840.

36. Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В., Депутат И.С. Сенсомоторные реакции в психофизиологических исследованиях (обзор) // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. – 2015. – № 1. – С. 38–48.
37. Motor Skills and Exercise Capacity Are Associated with Objective Measures of Cognitive Functions and Academic Performance in Preadolescent Children / S.S. Geertsen, R. Thomas, M.N. Larsen, I.M. Dahn, J.N. Andersen, M. Krause-Jensen, V. Korup, C.M. Nielsen [et al.] // PLoS One. – 2016. – Vol. 11, № 8. – P. e0161960. DOI: 10.1371/journal.pone.0161960
38. Режим пользования мобильным телефоном и изменения времени простой слухомоторной реакции. Возрастные особенности проявления ипсилатеральных и контралатеральных эффектов / Н.И. Хорсева, О.Р. Аль-Курди, П.Е. Григорьев, Р.Н. Ислямов, Н.Ю. Шульженко // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2021. – Т. 24, № 1. – С. 35–41. DOI: 10.18127/j15604136-202101-05
39. Хорсева Н.И., Аль-Курди О.Р., Шульженко Н.Ю. Сенсомоторные реакции и длительность индивидуальной минуты у детей-пользователей мобильной связью // Вестник Физико-технического института Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. – 2017. – Т. 1 (67–69), № 1. – С. 66–85.
40. Калинина Л.П., Кузьмин А.Г. Взаимосвязь показателей зрительно-моторной реакции и когнитивных зрительных вызванных потенциалов у школьников-северян // Журнал медико-биологических исследований. – 2019. – Т. 7, № 4. – С. 487–490. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.4.487
41. Козлова П.И., Джос Ю.С. Характеристика зрительных когнитивных вызванных потенциалов у школьников 13–18 лет в зависимости от пола // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. – 2014. – № 1. – С. 64–71.

*Хорсева Н.И., Григорьев П.Е. Электромагнитные поля сотовой связи как факторы риска негативного воздействия на центральную нервную систему детей и подростков (обзор). Часть 1. Моделирование. Параметры электроэнцефалографии и сенсомоторных реакций // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 162–169. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.15*

UDC 57.042+57.049+614

DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.15.eng



Review

## **ELECTROMAGNETIC FIELDS OF CELLULAR COMMUNICATION AS RISK FACTORS ABLE TO PRODUCE NEGATIVE EFFECTS ON THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM OF CHILDREN AND ADOLESCENTS (REVIEW). PART 1. MODELING. PARAMETERS OF ELECTROENCEPHALOGRAPHY AND SENSORIMOTOR REACTIONS**

**N.I. Khorseva<sup>1</sup>, P.E. Grigoriev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Emanuel Institute of Biochemical Physics of Russian Academy of Sciences, 4 Kosygina St., Moscow, 119334, Russian Federation

<sup>2</sup>Sevastopol State University, 33 Universitetskaya St., Sevastopol, 299053, Russian Federation

*It is quite relevant to investigate possible outcomes of exposure to radio frequency electromagnetic fields (RF EMF) since contemporary children and adolescents have become active users of the most advanced technologies. They are especially susceptible to electromagnetic factors; therefore, it is necessary to have a proper insight into outcomes of such exposures for the body.*

*The central nervous system (CNS) is one of the main targets under exposure to RF EMF. In most cases, users hold mobile phones close to their heads thereby directly exposing their brains to RF EMF.*

*As the analysis of literature data has shown, there are few studies in this area; however, proposed options for assessing the impact of RF EMF on children and adolescents are very diverse.*

© Khorseva N.I., Grigoriev P.E., 2024

**Natalia I. Khorseva** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Physical and Chemical Problems of Radiobiology and Ecology (e-mail: sheridan1957@mail.ru; tel.: +7 (905) 782-87-17; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3444-0050>).

**Pavel E. Grigoriev** – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of Psychological Department (e-mail: [grigorievp@cfuv.ru](mailto:grigorievp@cfuv.ru); tel.: +7 (978) 767-22-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7390-9109>).

*This part of the review focuses on various types of modeling. These are not only phantom, voxel models or the finite difference method but also new approaches such as distribution matrices, Monte Carlo simulations and an integrated radio frequency model based on the results of magnetic resonance imaging of the brain and other methods.*

*The review provides the results obtained by investigating encephalography under exposure to RF EMF created by mobile communication devices. They are rather contradictory; however, changes in the bioelectrical activity of the brain are detected in most cases, in particular, a decrease in the alpha rhyme.*

*Since the characteristics of sensorimotor reactions quite clearly reflect the power relations in the cerebral cortex, we analyzed changes in the parameters of simple auditory-motor and visual-motor reactions in children and adolescents who were mobile communication users. In addition, the review covers the results of changes in working capacity, fatigue, the duration of an individual minute and the reproduction of a given rhythm.*

**Keywords:** radio frequency electromagnetic field, central nervous system, modeling, electroencephalography, psychophysiological indicators, children, adolescents, risk factor.

## References

1. Warille A.A., Onger M.E., Turkmen A.P., Deniz Ö.G., Altun G., Yurt K.K., Altunkaynak B.Z., Kaplan S. Controversies on electromagnetic field exposure and the nervous systems of children. *Histol. Histopathol.*, 2016, vol. 31, no. 5, pp. 461–468. DOI: 10.14670/HH-11-707
2. Grigoriev Yu.G., Grigoriev O.A. Sotovaya svyaz' i zdorov'e: elektromagnitnaya obstanovka, radiobiologicheskie i gigenicheskie problemy, prognoz opasnosti [Cellular communication and health. Electromagnetic environment. Radiobiological and hygienic issues]. Moscow, Ekonomika Publ., 2016, 574 p. (in Russian).
3. Grigoriev Yu.G., Khorseva N.I. Mobil'naya svyaz' i zdorov'e detei. Otsenka opasnosti primeneniya mobil'noi svyazi det'mi i podrostkami. Rekomendatsii detyam i roditelyam [Mobile communication and children health. Assessment of the hazard of using mobile communications by children and teenagers. Recommendations for children and parents]. Moscow, Ekonomika Publ., 2014, 230 p. (in Russian).
4. Grigoriev Y.G., Khorseva N.I. A Longitudinal Study of Psychophysiological Indicators in Pupils Users of Mobile Communications in Russia (2006–2017). In book: *Mobile Communications and Public Health*; M. Markov ed. Boca Raton, CRC Press Publ., 2018, pp. 237–253. DOI: 10.1201/b22486-10
5. Kabali H.K., Irigoyen M.M., Nunez-Davis R., Budacki J.G., Mohanty S.H., Leister K.P., Bonner R.L. Jr. Exposure and Use of Mobile Media Devices by Young Children. *Pediatrics*, 2015, vol. 136, no. 6, pp. 1044–1050. DOI: 10.1542/peds.2015-2151
6. Kılıç A.O., Sari E., Yucel H., Oğuz M.M., Polat E., Acoglu E.A., Senel S. Exposure to and use of mobile devices in children aged 1–60 months. *Eur. J. Pediatr.*, 2019, vol. 178, no. 2, pp. 221–227. DOI: 10.1007/s00431-018-3284-x
7. Dimbylow P., Bolch W. Whole-body-averaged SAR from 50 MHz to 4 GHz in the University of Florida child voxel phantoms. *Phys. Med. Biol.*, 2007, vol. 52, no. 22, pp. 6639–6649. DOI: 10.1088/0031-9155/52/22/006
8. Beard B.B., Kainz W. Review and standardization of cell phone exposure calculations using the SAM phantom and anatomically correct head models Meta-Analysis. *Biomed. Eng. Online*, 2004, vol. 3, no. 1, pp. 34. DOI: 10.1186/1475-925X-3-34
9. Dimbylow P., Bolch W., Lee C. SAR calculations from 20 MHz to 6 GHz in the University of Florida newborn voxel phantom and their implications for dosimetry. *Phys. Med. Biol.*, 2010, vol. 55, no. 5, pp. 1519–1530. DOI: 10.1088/0031-9155/55/5/017
10. Findlay R.P., Dimbylow P.J. SAR in a child voxel phantom from exposure to wireless computer networks (Wi-Fi). *Phys. Med. Biol.*, 2010, vol. 55, no. 15, pp. N405–N411. DOI: 10.1088/0031-9155/55/15/N01
11. Gandhi O.P., Kang G. Calculation of induced current densities for humans by magnetic fields from electronic article surveillance devices. *Phys. Med. Biol.*, 2001, vol. 46, no. 11, pp. 2759–2771. DOI: 10.1088/0031-9155/46/11/301
12. Gandhi O.P. Electromagnetic fields: human safety issues. *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, 2002, vol. 4, pp. 211–234. DOI: 10.1146/annurev.bioeng.4.020702.153447
13. Gandhi O.P., Morgan L.L., de Salles A.A., Han Y.-Y., Herberman R.B., Davis D.L. Exposure limits: the underestimation of absorbed cell phone radiation, especially in children. *Electromagn. Biol. Med.*, 2012, vol. 31, no. 1, pp. 34–51. DOI: 10.3109/15368378.2011.622827
14. Gandhi O.P., Kang G. Some present problems and a proposed experimental phantom for SAR compliance testing of cellular telephones at 835 and 1900 MHz. *Phys. Med. Biol.*, 2002, vol. 47, no. 9, pp. 1501–1518. DOI: 10.1088/0031-9155/47/9/306
15. Keshvari J., Lang S. Comparison of radio frequency energy absorption in ear and eye region of children and adults at 900, 1800 and 2450 MHz. *Phys. Med. Biol.*, 2005, vol. 50, no. 18, pp. 4355–4369. DOI: 10.1088/0031-9155/50/18/008
16. Keshvari J., Keshvari R., Lang S. The effect of increase in dielectric values on specific absorption rate (SAR) in eye and head tissues following 900, 1800 and 2450 MHz radio frequency (RF) exposure. *Phys. Med. Biol.*, 2006, vol. 51, no. 6, pp. 1463–1477. DOI: 10.1088/0031-9155/51/6/007
17. Wiart J., Hadjem A., Gadi N., Bloch I., Wong M.F., Pradier A., Lautru D., Hanna V.F., Dale C. Modeling of RF head exposure in children. *Bioelectromagnetics*, 2005, suppl. 7, pp. S19–S30. DOI: 10.1002/bem.20155
18. Wiart J., Hadjem A., Wong M.F., Bloch I. Analysis of RF exposure in the head tissues of children and adults. *Phys. Med. Biol.*, 2008, vol. 53, no. 13, pp. 3681–3695. DOI: 10.1088/0031-9155/53/13/019
19. Morelli M.S., Gallucci S., Siervo B., Hartwig V. Numerical Analysis of Electromagnetic Field Exposure from 5G Mobile Communications at 28 GHz in Adults and Children Users for Real-World Exposure Scenarios. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, no. 3, pp. 1073. DOI: 10.3390/ijerph18031073
20. Vtomikova N.I., Babalyan A.V., Karelin A.A., Ivanov V.A. Evaluation of EMF exposure of mobile phones on human head. *Uchenye zapiski SPbGMU im. akad. I.P. Pavlova*, 2017, vol. 24, no. 4, pp. 75–81. DOI: 10.24884/1607-4181-2017-24-4-75-81 (in Russian).
21. Brzozek C., Benke K.K., Zeleke B.M., Croft R.J., Dalecki A., Dimitriadis C., Kaufman J., Sim M.R. [et al.]. Uncertainty Analysis of Mobile Phone Use and Its Effect on Cognitive Function: The Application of Monte Carlo Simulation in a Cohort of Australian Primary School Children. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2019, vol. 16, no. 13, pp. 2428. DOI: 10.3390/ijerph16132428

22. Cabré-Riera A., El Marroun H., Muetzel R., van Wel L., Liorni I., Thielens A., Birks L.E., Pierotti L. [et al.]. Estimated whole-brain and lobe-specific radiofrequency electromagnetic fields doses and brain volumes in preadolescents. *Environ. Int.*, 2020, vol. 142, pp. 105808. DOI: 10.1016/j.envint.2020.105808
23. Birks L.E., van Wel L., Liorni I., Pierotti L., Guxens M., Huss A., Foerster M., Capstick M. [et al.]. Radiofrequency electromagnetic fields from mobile communication: Description of modeled dose in brain regions and the body in European children and adolescents. *Environ. Res.*, 2021, vol. 193, pp. 110505. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110505
24. Eeftens M., Shen C., Sönksen J., Schmutz C., van Wel L., Liorni I., Vermeulen R., Cardis E. [et al.]. Modelling of daily radiofrequency electromagnetic field dose for a prospective adolescent cohort. *Environ. Int.*, 2023, vol. 172, pp. 107737. DOI: 10.1016/j.envint.2023.107737
25. Cabré-Riera A., van Wel L., Liorni I., Thielens A., Birks L.E., Pierotti L., Joseph W., González-Safont L. [et al.]. Association between estimated whole-brain radiofrequency electromagnetic fields dose and cognitive function in preadolescents and adolescents. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 2021, vol. 231, pp. 113659. DOI: 10.1016/j.ijheh.2020.113659
26. Sacco G., Pisa S., Zhadobov M. Age-dependence of electromagnetic power and heat deposition in near-surface tissues in emerging 5G bands. *Sci. Rep.*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 3983. DOI: 10.1038/s41598-021-82458-z
27. Croft R.J., Leung S., McKenzie R.J., Loughran S.P., Iskra S., Hamblin D.L., Cooper N.R. Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly. *Bioelectromagnetics*, 2010, vol. 31, no. 6, pp. 434–444. DOI: 10.1002/bem.20583
28. Leung S., Croft R.J., McKenzie R.J., Iskra S., Silber B., Cooper N.R., O'Neill B., Cropley V. [et al.]. Effects of 2G and 3G mobile phones on performance and electrophysiology in adolescents, young adults and older adults. *Clin. Neurophysiol.*, 2011, vol. 122, no. 11, pp. 2203–2216. DOI: 10.1016/j.clinph.2011.04.006
29. Vyatleva O.A., Teksheva L.M., Kurgansky A.M. Physiological and hygienic assessment of the impact of mobile phones with various radiation intensity on the functional state of brain of children and adolescents according to electroencephalographic data. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 10, pp. 965–968. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-10-965-968 (in Russian).
30. Vyatleva O.A., Kurgansky A.M. Uroven' izlucheniya mobil'nykh telefonov, ispol'zuemykh sovremennymi shkol'niki, i ego vliyanie na bioelektricheskuyu aktivnost' mozga i vegetativnuyu regulyatsiyu serdechnogo ritma detei [The level of radiation from mobile phones used by modern schoolchildren and its impact on the bioelectrical activity of the brain and autonomic regulation of the heart rate of children]. *Ekologicheskie problemy sovremennosti: vyyavlenie i preduprezhdenie neblagopriyatnogo vozdeystviya antropogennno determinirovannykh faktorov i klimaticheskikh izmenenii na okruzhayushchuyu sredu i zdorov'e naseleniya: Materialy Mezhdunarodnogo Forum Nauchnogo sojeta Rossiiskoi Federatsii po ekologii cheloveka i gigiene okruzhayushchei sredy*, Moscow, 2017, pp. 93–94 (in Russian).
31. Vyatleva O.A. The impact of long-term mobile phone use at the right ear on the interhemispheric asymmetry of alpha rhythm and the auditory memory of young school children. *Asimmetriya*, 2019, vol. 13, no. 3, pp. 28–39. DOI: 10.25692/ASY.2019.13.3.003 (in Russian).
32. Loughran S.P., Benz D.C., Schmid M.R., Murbach M., Kuster N., Achermann P. No increased sensitivity in brain activity of adolescents exposed to mobile phone-like emissions. *Clin. Neurophysiol.*, 2013, vol. 124, no. 7, pp. 1303–1308. DOI: 10.1016/j.clinph.2013.01.010
33. Loughran S.P., Verrinder A., Dalecki A., Burdon C.A., Tagami K., Park J., Taylor N.A.S., Croft R.J. Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure and the Resting EEG: Exploring the Thermal Mechanism Hypothesis. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2019, vol. 16, no. 9, pp. 1505. DOI: 10.3390/ijerph16091505
34. Gilev A.V., Gileva O.B. Influence of ICT learning technologies on the bioelectric activity of the brain of schoolchildren. *Vestnik psikhofiziologii*, 2022, no. 2, pp. 59–73. DOI: 10.34985/h7833-6875-6818-z (in Russian).
35. Shutova S.V., Muravyova I.V. Sensorimotor reactions as characteristics of functional state of CNS. *Vestnik tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2013, vol. 18, no. 5–3, pp. 2831–2840 (in Russian).
36. Nekhoroshkova A.N., Gribanov A.V., Deputat I.S. Sensorimotor reactions in psychophysiological studies (review). *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Mediko-biologicheskie nauki*, 2015, no. 1, pp. 38–48 (in Russian).
37. Geertsens S.S., Thomas R., Larsen M.N., Dahn I.M., Andersen J.N., Krause-Jensen M., Korup V., Nielsen C.M. [et al.]. Motor Skills and Exercise Capacity Are Associated with Objective Measures of Cognitive Functions and Academic Performance in Preadolescent Children. *PLoS One*, 2016, vol. 11, no. 8, pp. e0161960. DOI: 10.1371/journal.pone.0161960
38. Khorseva N.I., Al'-Kudri O.R., Grigoryev P.E., Islyamov R.N., Shulzhenko N.Yu. Mode of use by mobile phone and change of time of simple audio-motor reaction for users of mobile communication. Age related features of ipsilateral and contralateral effects. *Biomeditsinskaya radioelektronika*, 2021, vol. 24, no. 1, pp. 35–41. DOI: 10.18127/j15604136-202101-05 (in Russian).
39. Khorseva N.I., Al'-Kudri O.R., Shul'zhenko N.Yu. Sensocother reactions and individual minute duration of children-users of mobile communication. *Vestnik Fiziko-tekhnicheskogo instituta Krymskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo*, 2017, vol. 1 (67–69), no. 1, pp. 66–85 (in Russian).
40. Kalinina L.P., Kuz'min A.G. Correlation between visual-motor reaction parameters and visual event-related potentials in schoolchildren living in the north of Russia. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy*, 2019, vol. 7, no. 4, pp. 487–490. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.4.487 (in Russian).
41. Kozlova P.I., Dzhos Yu.S. Sex-related characteristics of visual cognitive evoked potentials in schoolchildren aged 13–18 year. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2014, no. 1, pp. 64–71 (in Russian).

Khorseva N.I., Grigoriev P.E. Electromagnetic fields of cellular communication as risk factors able to produce negative effects on the central nervous system of children and adolescents (review). Part 1. Modeling. Parameters of electroencephalography and sensorimotor reactions. *Health Risk Analysis*, 2024, no. 2, pp. 162–169. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.15.eng

Получена: 24.09.2023

Одобрена: 31.05.2024

Принята к публикации: 20.06.2024



Обзорная статья

## РОЛЬ ФАКТОРОВ РИСКА ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА В ПАНДЕМИИ COVID-19 (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

Б.А. Ревич

Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Российская Федерация, 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, 47

*Благоприятные условия городского пространства играют важную роль в сохранении здоровья жителей крупных населенных пунктов. Вместе с тем такие его особенности, как высокая плотность населения и застройки, несовершенная дорожно-транспортная инфраструктура, нерациональные планировочные решения, повышенный уровень загрязнения атмосферного воздуха, острова жары, недостаток озелененных территорий – существенные факторы риска здоровью, способствующие распространению респираторных заболеваний, что наиболее явственно проявилось во время пандемии COVID-19. В аналитическом обзоре рассмотрены результаты исследований по влиянию этих неблагоприятных условий на инфицированность, заболеваемость и смертность населения от COVID-19 в городах различных стран.*

*Показана неоднозначность влияния повышенной плотности населения, по сравнению с другими факторами риска, на инфицированность населения вирусом COVID-19. Более достоверны данные о воздействии мелкодисперсных взвешенных частиц, особенно на показатели заболеваемости и смертности от рассматриваемого инфекционного заболевания. Также во время пандемии показано сочетанное воздействие вируса COVID-19 и аномально высоких температур на психическое здоровье.*

*Для снижения инфицированности населения в мегаполисах предлагается дальнейшее развитие торговых и других инфраструктур в пешеходной доступности (15 мин), важен вывод исследователей о более высоких рисках инфицирования в условиях плотных пешеходных потоков, по сравнению с общественными помещениями, поэтому важно совершенствование системы информирования о необходимости социальной дистанции. Территориальное планирование городов для снижения инфицированности респираторными заболеваниями должно быть ориентировано на улучшение аэрации городских улиц. Результаты указанных исследований в различных городах мира послужили основанием для принятия управленческих решений по развитию мобильности на пригородных территориях в более комфортной природной среде, по увеличению в городах площадей озелененных территорий, по снижению негативного влияния нагревающего климата на островах жары и повышенного уровня загрязнения атмосферного воздуха. В этих целях наиболее эффективны масштабные открытые зеленые пространства.*

**Ключевые слова:** COVID-19, здоровье населения, риски здоровью, общественное здоровье, зеленые пространства, планировка городов, территориальное планирование, урбанистика, мегаполисы.

Города – локомотивы экономики, они обеспечивают доступ к занятости, возможностям и ресурсам. К 2050 г., согласно прогнозам, около 70 % мирового населения будет жить в городах. Постоянно увеличивается численность населения и в российских мегаполисах – городах с численностью населения более 1 млн чел. Именно в городах пандемия наиболее значительно изменила образ жизни людей, т.е. произошел колоссальный социальный эксперимент по изменению городского планирования [1]. Журнал Lancet по проблематике глобального здоровья (Lancet Global Health) с 2022 г. начал публикацию статей по исследованию различных аспектов планирования городских территорий и здоровья на-

селения, в которых затрагиваются вопросы распространенности респираторных инфекционных заболеваний. Результаты интервью с экспертами по атипичной пневмонии подтвердили, что инфекционные респираторные заболевания распространяются быстрее, чем когда-либо прежде в истории [2]. По данным ВОЗ, пандемия COVID-19 привела к инфицированию около 702 млн человек и 7 млн случаев смерти во всем мире. Многие фактические данные подтверждают связи между городским планированием и здоровьем населения, о чем упоминается в обзорах [3, 4]. Вопросы здоровья жителей городов стали важной частью нового урбанизма, возникло понятие «Здоровое городское планирование», под-

© Ревич Б.А., 2024

**Ревич Борис Александрович** – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией прогнозирования качества окружающей среды и здоровья населения (e-mail: brevich@yandex.ru; тел.: 8 (499) 129-18-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7528-6643>).

разумевающее интеграцию различных аспектов общественного здравоохранения в политику и практику городского планирования. Программой ООН по населенным пунктам (НАВИТАТ) и ВОЗ опубликован справочник по интеграции здоровья в планирование, охватывающий экологические меры, вопросы гигиены и санитарии, в том числе профилактику травматизма, здоровый образ жизни, физическую активность<sup>1</sup>. Вопросы такого планирования чрезвычайно актуальны и для нашей страны, прежде всего, с учетом повышенной плотности населения в некоторых городах [5], несовершенства дорожно-транспортной структуры, продолжающейся высотной застройки на небольших территориях, проблем с качеством среды обитания и последствий пандемии, которые пагубно отразились на демографической ситуации.

Во время пандемии в 2020–2022 гг. избыточная смертность на российской территории, по данным Росстата, составила 749,5 тыс. случаев. Это, по заключению демографов, привело к снижению ожидаемой продолжительности жизни в 2020 г. у мужчин на 2,33 года (5 % ДИ: 2,17–2,27) и у женщин – на 2,13 года (95 % ДИ: 2,03–2,25) [6]. Для сравнения укажем, что абсолютное число смертей в США превысило 1 млн случаев, но интенсивный показатель в России был выше в 1,6 раза. Конечно, такие данные надо оценивать как ориентировочные, так как инфицированные люди погибали и от других причин, но им не был поставлен диагноз коронавируса. В период 2021–2022 гг. для России была характерна более высокая заболеваемость COVID-19 среди городского населения, чем среди сельского (в 1,5–1,8 раза) [7]. Можно предположить, что в определенной мере это результат низкой степени обследования жителей сельской местности с использованием современных методов оценки инфицированности вирусом COVID-19. Другой, более информативный показатель последствий пандемии – стандартизованный коэффициент смертности – свидетельствует об иной ситуации: в 2019–2021 гг. он был примерно на одном уровне, в 2022 г. – выше у сельского населения в 1,06 раза<sup>2</sup>. Это, по-видимому, можно объяснить истощением резервов сельского здравоохранения, в том числе медицинского персонала, частично направленного в города.

Публикаций по оценке воздействия различных факторов риска на пандемию – сотни тысяч, значительное их число – по особенностям развития пандемии в городских условиях. Поиск в PubMed «COVID 19 и городское пространство» показывает более 500 статей по этой тематике. В данном обзоре

с учетом социально-экономических реалий, качества окружающей среды российских городов выполнен анализ двух факторов риска – плотности населения и загрязнения атмосферного воздуха, а также такого компенсаторного показателя, как городские зеленые пространства.

**COVID-19 и плотность населения.** Различная морфология городской застройки могла повлиять на динамику пандемии, и часть существующих исследований сосредоточена на факторах, связанных с плотностью застройки. Вспышка COVID-19 выдвинула на первый план вопросы, связанные с компактностью городской застройки. Первоначальная гипотеза заключалась в том, что густонаселенные районы с хорошим транспортным сообщением могут стать горячими точками быстрого распространения пандемии из-за высокого уровня личного взаимодействия. В первых публикациях 2020 г. о вспышке в Ухане случаи COVID-19 ассоциировались с высокой плотностью населения [8, 9]. Это было подтверждено в Пекине и других городах Китая [10, 11]. Доказательства этой связи были получены и в других странах – Канаде [12], Японии [13], Италии [14]. При анализе влияния плотности населения выяснилось, что она является наиболее сильным предиктором вариаций заболеваемости практически во всех американских штатах [15]. Хотя повышенная плотность населения может быть фактором, способствующим передаче инфекционных заболеваний, города с высокой плотностью населения часто лучше подготовлены и имеют больший доступ к ресурсам, необходимым для своевременного реагирования на предотвращение распространения вирусов. Напротив, сельские и пригородные районы с низкой плотностью населения имеют ограниченный доступ к таким ресурсам [16]. Кроме того, в городах соблюдение социальной дистанции является более сложной задачей в районах с высокой плотностью населения и в многолюдных местах.

В развитых странах здравоохранение находится на высоком уровне, в том числе и в сельской местности, и нет особых проблем с доступностью его объектов. Такова ситуация в Нидерландах, где не обнаружили положительной связи между плотностью населения в территориальных округах с разной степенью урбанизации и уровнем заболеваемости COVID-19 [17]. В сельской местности развивающихся стран наблюдался более высокий уровень смертности, особенно людей старшего возраста, из-за недостаточного развития здравоохранения и большего расстояния до больниц<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Integrating health in urban and territorial planning: a sourcebook. – Geneva: UN-HABITAT and World Health Organization, 2020. – 108 p.

<sup>2</sup> Рассчитано по данным Росстата.

<sup>3</sup> Dobis E., McGranahan D. Rural death rates from COVID-19 surpassed urban death rates in early September 2020 [Электронный ресурс] // Economic Research Service of U.S. Department of Agriculture. – 2021. – URL: <https://www.ers.usda.gov/data-products/chart-gallery/gallery/chart-detail/?chartId=100740> (дата обращения: 19.01.2024).

Городские преобразования в ответ на пандемию должны выходить за рамки узких представлений о плотности населения, ориентироваться на более глубокое исследование и более тонкое понимание таких городских аспектов, как взаимосвязанность, неравномерное развитие, перенаселенность домов и бедность. Проблема COVID-19 в городах требует широкого обсуждения различных типов плотности населения в городах. Пандемия может «спровоцировать срочное переосмысление того, как мы планируем, проектируем, строим города и знакомимся с ними», необходима переоценка значения плотности населения [18]. Это положение подтверждают результаты исследований смертности от COVID-19 по 900 крупным округам США, где не обнаружили сильной положительной корреляции между заражением, уровнем смертности и плотностью населения [19]. В другой работе того же автора указывается, что в самом крупном городе США – Нью-Йорке – распространению вируса SARS-CoV-2 способствовала скученность людей вокруг достопримечательностей, но не плотность населения [20]. В работе [21] было показано, что в другом американском мегаполисе – Чикаго – высокая плотность населения не оказывала влияния на смертность от этой инфекции. Изучение влияния различных показателей плотности населения на показатели заболеваемости и смертности от COVID-19 во всех урбанизированных округах США выявило более важную роль *плотности рабочих мест*. Авторы указывают на противоречивость выводов о плотности населения и распространении заболевания в результате использования различных показателей плотности [22].

В городских условиях, как это показано на примере Нью-Йорка [23], различия в возможностях доступа к ключевым объектам повседневной инфраструктуры являются важным фактором, объясняющим неравномерные результаты пандемии на уровне отдельных районов этого города. В исследования включались показатели плотности, расстояния до общественных зданий, объектов здравоохранения, расстояние и доступ к общественному транспорту. Для снижения инфицированности населения в условиях крупного города предлагается развивать торговую, развлекательную и другую инфраструктуру в пределах 15 мин пешеходной доступности или езды на велосипеде, и это будет способствовать более высокому качеству жизни [24]. Крупные города предоставляют разветвленную сеть инфраструктуры и услуг здравоохранения, а компактная городская форма обеспечивает более легкий доступ к здравоохранению. Таким образом, показано, что развитая инфраструктура и более высокая компактность городов могли бы помочь справиться с заболеваниями и смягчить негативные последствия для здоровья [19, 25–27].

Более детальные исследования городской структуры Амстердама и инфицированности людей COVID-19 показали больший риск заражения на

улицах с интенсивными пешеходными потоками. Именно здесь надо применять меры по соблюдению дистанции между гражданами для снижения уровня передачи инфекции воздушно-капельным путем. Улицы с массами пешеходов представляют больший риск инфицирования, чем скопление населения в общественных зданиях [28].

Исследование по российским регионам избыточной смертности от COVID-19 не выявило влияния на этот показатель плотности населения [29]. Но это влияние было зафиксировано среди работающих вахтовым методом в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах, а также среди пенсионеров, находящихся в пансионатах [30, 31].

**COVID-19 и загрязнение атмосферного воздуха.** Взвешенные вещества в воздухе образуют кластеры с частицами коронавируса и распространяются на расстояние до 10 м от источника инфекции. Имеется определенное сходство в воздействии вируса SARS-CoV-2 и мелкодисперсных взвешенных частиц размером менее 10 мкм (PM<sub>10</sub>). Подробно данная проблема рассмотрена в нашем предыдущем обзоре [5], суммирующем результаты опубликованных в связи с этим исследований в различных странах мира к 2020 г. Более чем в 30 работах, выполненных в Китае, Индии, Италии, Испании, Германии, Франции, приведены доказательства корреляции показателей заболеваемости и смертности населения от этого инфекционного заболевания с уровнем загрязнения атмосферного воздуха. После 2020 г. появились новые исследования по этой проблематике, подтверждающие указанные связи [32, 33]. В Европе до 6,6 % смертей и в Китае до 11 % смертей от COVID-19 были обусловлены загрязнением атмосферного воздуха. Люди с хроническими заболеваниями легких, подвергшиеся воздействию более высоких уровней PM<sub>2,5</sub>, значительно чаще госпитализировались из-за COVID-19, что указывает на обострение основного заболевания [34]. Частицы PM<sub>2,5</sub> и другие загрязняющие вещества усугубляют тяжесть заболевания за счет увеличения проницаемости эпителия, увеличения экспрессии рецепторов ACE2 в дыхательных путях и вызывают окислительный стресс, усиление воспалительных реакций и иммунную дисрегуляцию [35–37].

В России исследования зависимости заболеваемости COVID-19 от уровня загрязнения атмосферного воздуха проведены по шести городам (Братск, Липецк, Красноярск, Норильск, Омск и Череповец) в рамках федерального проекта «Чистый воздух». В этих городах доказано возрастание средней избыточной заболеваемости COVID-19 за 14,5 месяцев пандемии на  $5,0 \pm 2,6$  %, по сравнению с «базовым» эпидемиологическим сценарием [38].

Учитывая, что доказательства связи между концентрациями загрязняющих веществ (PM, диоксида азота) в атмосферном воздухе были опубликованы достаточно оперативно в 2020 г., в ряде стран, в том числе и в России, были введены определенные

ограничения на выбросы, и они действительно снизились. Произошло снижение загрязнения атмосферного воздуха и в Москве [39, 40]. В целом по миру за время пандемии, по различным оценкам, снижение объемов выбросов за 2020 г. составило от 4 до 7 % [41].

**COVID-19 и острова жары в городах.** Интенсивное потепление климата привело к обострению проблемы увеличения рисков здоровью от экстремально высоких температур на территориях островов жары в городах, что особенно явственно проявляется при высотной застройке. Этот феномен в российских городах уже на протяжении нескольких лет изучается климатологами, и доказано их образование не только в крупных городах, но, например, и в таком небольшом городе, как Надым (46 тысяч жителей) [42]. В центрах городов, кроме островов жары, также формируются остров влажности (из-за практического отсутствия открытого почвенного покрова) и остров ветров (из-за высотных зданий, вокруг которых создается турбулентное движение воздуха). Летом средняя температура воздуха вокруг газонов может быть на 2,1–5,5 °C ниже, чем вокруг непроницаемых поверхностей. Все эти факторы приводят к еще большей дискомфортности климата центров городов. Например, моделирование таких ситуаций в 30 крупнейших городах страны выявило в центре Краснодара остров жары с ощущаемой температурой воздуха выше 50 °C<sup>4</sup> [43]. Даже короткие волны жары продолжительностью 3–5 дней (без которых практически не обходится ни одно лето в условиях умеренно континентального климата) приводят к увеличению числа осложнений у людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями в 4,5 раза [44], т.е. создается дополнительная опасность для лиц, заболевших COVID. Сочетанное воздействие вируса COVID-19 и аномально высоких температур – это реальная опасность и для психического здоровья, подтвержденная многими российскими и зарубежными исследованиями. Обзор работ на русском языке о тревожно-депрессивных нарушениях, росте суицидального поведения во время пандемии представлен в публикациях [45, 46], и во время волн жары – в нашем научном докладе [47].

Однако во время пандемии в результате некоторого снижения выбросов загрязняющих веществ и антропогенного тепла произошло и снижение температуры воздуха. Это отмечено в 46 китайских городах [48], в деловых районах Осака (Япония) из-за перевода 75 % сотрудников на удаленный доступ [49], а в марокканском городе Касабланка за время пандемии площади островов жары были самыми низкими за всю историю наблюдений [50].

Весьма интересна и проблема взаимодействия загрязнения атмосферного воздуха РМ и ультрафиолетовой радиации (УФР). Снижение концентрации РМ в воздухе может привести к увеличению такой радиации. Известно негативное воздействие повышенных доз УФР на иммунную и кожную системы, органы зрения, и, возможно, этот фактор риска также мог привести к более тяжелому течению COVID-19 в некоторых российских регионах. На российской территории контроль за эритемно-взвешенной УФР проводится на 14 станциях Росгидромета, а также некоторыми научно-исследовательскими организациями и кафедрой климатологии и метеорологии географического факультета МГУ. Сотрудниками этой кафедры разработан весьма интересный показатель «УФ-ресурсы», позволяющий оценивать положительное и отрицательное воздействие этого фактора на разные типы кожи и зрение. Использование алгоритма оценки опасных доз УФР позволило определить наиболее проблемные территории – это северные и восточные территории преимущественно в весенние месяцы [51]. Население данных территорий подвергается также дополнительному риску при переезде в более южные регионы или при отдыхе в южных странах. Но и в южных регионах опасные для здоровья уровни УФР наблюдаются с мая по август с повторяемостью 20–25 %, а в умеренных широтах – в летние месяцы – с частотой от 5 до 12 % [52]. Проблема избыточного излучения УФР обусловлена также разрушением озонового слоя, особенно в некоторые годы над Арктикой. Исследования последних лет указывают на формирование избыточных значений УФР из-за озоновых дыр над территориями южной и центральной частей Поволжья, Урала и Западной Сибири [53].

**COVID-19: роль зеленых пространств в сохранении физического и психического здоровья.** Распространение пандемии коронавируса дает уникальную возможность улучшить понимание роли стратегий городского планирования в обеспечении устойчивости городских сообществ перед пандемией, в том числе такого важнейшего их элемента, как зеленые пространства. На основании исследований во многих странах доказана важность городских зеленых пространств для здоровья населения, для смягчения последствий социальной изоляции и защиты психического здоровья во время и после пандемии [54–62]. В одном из таких исследований в Китае установлено, что в разгар пандемии посетители пекинского парка вели больше позитивных микроблогов внутри, чем за пределами парка, и что ландшафт и растения были основными элементами положительных эмоций. У людей, живущих в более зеленых районах, уровень физической активности

<sup>4</sup> Ощущаемая температура – это температурный эквивалент, воспринимаемый человеком, вызванный совокупным воздействием температуры воздуха, относительной влажности и скорости ветра, он применяется для оценки воспринимаемой температуры.

снизились в меньшей степени, чем у тех, кто жил в менее зеленых районах. Городские зеленые пространства во время пандемии способствовали физической активности людей, особенно проживающих в более зеленых районах [63, 64].

Однако в тех городах, где не были введены чрезвычайно жесткие меры по передвижению людей, парки могли использоваться и инфицированными горожанами [65, 66]. Весьма интересно выражение «карманные парки», которое использовали социологи при опросе жителей Нью-Йорка во время пандемии. Эти небольшие пространства, в нашем понимании – скверы для кратковременного отдыха горожан, были очень востребованы во время пандемии. Тем не менее более эффективны крупные городские пространства. ВОЗ рекомендует площадь озелененных мест не менее 0,5–1 га в пределах 300 м от жилых домов [67]. В Москве при летней жаре 2021 г. наиболее выраженный охлаждающий эффект наблюдался от «городского леса» площадью 250 га, где возникал эффект бриза [68].

Весьма интересно ретроспективное исследование зависимостей частоты случаев COVID-19 (индивидуальные данные с положительным тестом) от места проживания в период начала вакцинации [33]. Созданные многомерные модели показали более высокий риск госпитализации (на 14,2 %) у лиц, проживающих в многоквартирных домах, по сравнению с людьми, проживающими в частных домах. В этом и других исследованиях [61, 69–71] также сделан акцент на оценке влияния планировочной структуры, способствующей большей мобильности населения. Проживание в районах, более пригодных для пеших и велосипедных прогулок, снижает риск госпитализации среди людей, инфицированных COVID-19.

**Выводы.** Анализ влияния сложных перекрывающихся рисков в городской среде – высокой плотности населения, загрязнения атмосферного воздуха, нагревающего климата (на фоне воздействия комплекса социально-экономических и биологических факторов) – на распространенность и исход заболеваний COVID-19 является крайне сложной задачей. Но ее решение необходимо для определения текущих и перспективных задач по улучшению эпидемиологической ситуации, связанной с респираторными инфекционными заболеваниями. Кроме того, в настоящее время еще нет результатов исследований о зараженности населения COVID-19 в нашей стране на территориях с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха вблизи металлургических, химических предприятий, горно-обогатительных комбинатов и других производств.

Затруднительно описать и оценить весь тот колоссальный комплекс социально-экономических последствий пандемии, которые будут еще ощущаться. За время пандемии снизились доходы некоторых групп населения. Экономисты Финансового

университета при Правительстве Российской Федерации [72] оценили влияние случаев заболевших COVID по субъектам Федерации в 2020 г. на реальные доходы населения по отношению к 2019 г. Получена достоверная зависимость (коэффициент Пирсона – 0,42), что чем больше число заболевших, тем меньше денежные доходы. По образному выражению авторов указанной статьи, «болезнь вымывает на 2–3 месяца работников из экономических процессов», происходит недополучение регионального валового продукта и снижение уровня жизни. К сожалению, пока не оценены экономические потери от пандемии как в целом по стране, так и в отдельных регионах. Можно только привести пример по Норильску, где на борьбу с пандемией компания «НорНикель» потратила в 2020 г. около 12 млрд руб., в том числе на дополнительное оснащение системы здравоохранения аппаратами ИВЛ, реанимобилями, тепловизорами.

Пандемия COVID-19 привела к снижению такого базового демографического показателя, как ожидаемая продолжительность жизни, при увеличении уровня смертности населения трудоспособного возраста. Анализ этого показателя по возрастным группам за 2000–2021 гг. показал, что пандемия нарушила тренд постепенного снижения смертности в этой возрастной группе. Показатель смертности увеличился и среди молодого населения (15–29 лет), что не характерно для стран с развитой экономикой. Даже в 2021 г., когда уже происходила массовая вакцинация, смертность в молодом и среднем возрасте возросла, по сравнению с предыдущим годом. Кривая дожития 2019 г. свидетельствует о крайне негативном прогнозе: 29 % мужчин и 11 % женщин не доживут до 60 лет [73]. Пандемия оказала влияние и на рождаемость из-за отложенных беременностей и ЭКО, уменьшения числа зачатий из-за опасения инфицирования плода и других причин [74].

Анализируя ситуацию с распространением пандемии COVID-19 в городах, многие специалисты в области общественного здоровья, планирования городских территорий, урбанистики предлагают различные решения по снижению рисков окружающей среды здоровью населения, снижению распространенности респираторных инфекционных заболеваний. К сожалению, в России при территориальном планировании практически не учитываются такие морфологические показатели, как ориентация кварталов, соотношение высоты и ширины улиц, плотность застройки и др., при правильном использовании которых возможно добиться улучшения аэрации городов. Поэтому важны конкретные предложения других стран по градостроительным решениям и территориальному планированию в постковидное время. Пандемия COVID-19 повысила значимость городских общественных открытых пространств и диктует необходимость по-другому оценивать планировочные решения, не допуская скопления многоэтажных зданий на ограниченной

территории. Все больше специалистов в области урбанистики и планирования городов считают необходимым постепенный переход от вертикального проектирования к горизонтальному. Это поможет улучшить комфортность городской среды, даст возможность улучшить общее самочувствие [75–78].

Предлагается изменить и правила планировки общественных городских территорий для дистанцирования людей на скамейках, в местах их массового скопления, на остановках общественного транспорта и других схожих локусах [79]. Также необходимы резкое увеличение площадей открытых зеленых пространств, научное обоснование полезности для снижения рисков здоровью как крупных массивов, так и небольших зеленых территорий [47]. Важно, что появились результаты исследований о преодолении возникающих стрессов при ежедневном посещении зеленых пространств [80]. Поэтому возникает вопрос о необходимости поиска баланса между такими небольшими зелеными образованиями и потребностью мегаполисов в крупных зеленых массивах. Даже постоянное нахождение рядом с комнатными растениями имело определенный положительный психологический смысл во время пандемийного карантина [81]. Отмечена также важность городских зеленых пространств для поддержания физического здоровья, при ограничении и запретах спортивных мероприятий они частично их заменили, при этом была возможность соблюдения социальной дистанции. По отношению к этим местам даже предложен термин «пространственная вакцина» [82]. Планирование городских территорий с учетом таких рисков здоровью, как предотвращение островов жары и низкое качество воздуха, также должно быть направлено на предотвращение рисков от респираторных инфекций, в том числе COVID-19 [83, 84].

Через год после начала пандемии с высоким уровнем избыточной смертности в крупных городах ведущие европейские специалисты в области общественного здоровья указали на необходимость улучшения городского планирования, снижения транспортных потоков. Например, в Барселоне предложена программа планирования территорий Superblock, в которой предусматривается увеличение велосипедного транспорта и зеленых пространств [85]. В Лондоне появились кварталы с низкой интенсивностью движения автотранспорта, где поощряется активность людей. Париж представляет проект «Город за 15 минут», в рамках которого все направления – работа, школа, магазины, культурные и досуговые учреждения – должны быть доступны в пределах 15-минутной ходьбы или езды на велосипеде от дома. Гамбург планирует освободить от ав-

томобилей к 2034 г. часть городских кварталов [86]. В 89 городах мира во время пандемии были приняты решения об изменении планирования городских территорий, а в 63 городах – по улучшению мобильности и улучшению транспортного движения. Например, в столице Колумбии Богота с населением около 8 млн человек были организованы новые велосипедные дорожки [87]. Эти новые городские модели направлены на предоставление большего общественного пространства для людей и меньшего пространства для индивидуального моторизованного транспорта и, таким образом, на снижение загрязнения воздуха и уровня шума, выбросов парниковых газов и негативного эффекта островов жары и на повышение физической активности горожан. Для этого ключевые действия будут включать достижение научно обоснованной плотности населения, при которой не возникают разнообразные дополнительные риски здоровью населения и обеспечиваются доступность места назначения, короткое расстояние до транспорта и доступность зеленых насаждений. Городские зеленые пространства, пешеходный доступ к ним за 15–20 мин увеличивают ожидаемую продолжительность жизни, улучшают когнитивные функции у детей и пожилых людей, улучшают психическое здоровье и стимулируют иммунную систему [88].

Значительный опыт по рациональному планированию городских территорий с точки зрения защиты здоровья населения накоплен и в России. Использование математического моделирования плотности застройки и дорожно-транспортной сети для поиска оптимальных планировочных решений с позиций минимизации рисков здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха и повышенного уровня шума в настоящее время достаточно широко используется в различных российских городах<sup>5</sup> [89–93]. Постоянное возрастание интенсивности транспортных потоков на дорогах городов требует особого внимания к гигиенической оценке проектов изменения транспортно-дорожной инфраструктуры. На это направлена многоуровневая модель расчета выбросов 18 загрязняющих веществ автотранспортными средствами в программном комплексе COPERT V, при использовании которой были выявлены территории повышенного уровня загрязнения атмосферного воздуха в Москве [94]. Совместный труд гигиенистов и проектировщиков привел к оптимальным решениям по созданию комфортной среды обитания в городских кварталах с учетом высоты и плотности застройки, приемов планировочных решений [90]. В нашем предыдущем обзоре [95] также были рассмотрены рекомендации отечественных гигиенистов по планировке жилых кварталов с

<sup>5</sup> Фокин С.Г. Научно-методические основы управления риском здоровью населения в условиях мегаполиса: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – СПб., 2011. – 50 с.; Бобкова Т.Е. Концепция зонирования территорий населенных мест на основе анализа риска здоровью населения: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – М., 2011. – 50 с.

точки зрения снижения рисков здоровью населения, обеспечивающие защиту от высокой скорости ветра и биоклиматическую комфортность. Весьма полезен и новый программный продукт Европейского бюро ВОЗ по оценке влияния зеленых пространств на смертность и психическое здоровье населения Green Ur. Конкретные меры по адаптации городского управления к изменениям климата подробно рассмотрены в Научном докладе ИНП РАН «Меняющийся климат и здоровье населения: проблемы адаптации» [47]. На снижение температуры воздуха направлен проводимый многими странами энергетический переход от ископаемого топлива к возобновляемым источникам энергии, он будет способствовать не только повышению устойчивости наших городов, но также комфортности среды обитания и улучшению общественного здоровья.

Одна из действенных мер по улучшению здоровья жителей мегаполисов и других крупных городов – улучшение планировки жилых территорий с увеличением числа мест для пешеходов и велосипедных прогулов, увеличение пешеходной и велосипедной

инфраструктуры, поощрение смешанного землепользования, снижение плотности застройки. Улучшение мобильности жителей – крайне сложная управленческая задача, к решению которой необходимо привлечение широкого круга специалистов – от педагогов до градостроителей. Пандемию можно рассматривать как важнейшую отправную точку для ускорения решения вопросов по созданию комфортной городской среды. На это направлены Климатическая доктрина Российской Федерации, утвержденная Указом Президента 26.10.2023, Национальный план по адаптации к изменениям климата, федеральные проекты «Чистый воздух» и «Формирование комфортной городской среды». Но пока в стране отсутствуют новые решения в области территориального планирования и развития доступных зеленых пространств.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Next city: learning from cities during COVID-19 to tackle climate change / C. Kakderi, N. Komninos, A. Panori, E. Oikonomaki // *Sustainability*. – 2021. – Vol. 13. – P. 3158. DOI: 10.3390/su13063158
2. Pandemics, place, and planning: Learning from SARS / S.H. Ali, R. Keil, C. Major, E. Van Wagner // *Plan Canada*. – 2006. – Vol. 46, № 3. – P. 34–36.
3. Designing healthier neighbourhoods: A systematic review of the impact of the neighbourhood design on health and wellbeing / J. Ige-Elegbede, P. Pilkington, J. Orme, B. Williams, E. Prestwood, D. Black, L. Carmichael // *Cities Health*. – 2020. – Vol. 6, № 5. – P. 1004–1019. DOI: 10.1080/23748834.2020.1799173
4. City planning and population health: A global challenge / B. Giles-Corti, A. Vernez-Moudon, R. Reis, G. Turrell, A.L. Dannenberg, H. Badland, S. Foster, M. Lowe [et al.] // *Lancet*. – 2016. – Vol. 388, № 10062. – P. 2912–2924. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)30066-6
5. Ревич Б.А., Шапошников Д.А. Пандемия COVID-19: новые знания о влиянии качества воздуха на распространение коронавирусной инфекции в городах // *Проблемы прогнозирования*. – 2021. – № 4 (187). – С. 28–37. DOI: 10.47711/0868-6351-187-28-37
6. Effects of COVID-19 pandemic in life expectancy and premature mortality in 2020: time serial analysis in 37 countries / N. Islam, D. Jdanov, V.M. Shkolnikov, K. Khunti, I. Kawachi, M. White, S. Lewington, B. Lacey // *BMJ*. – 2021. – Vol. 375. – P. e066768. DOI: 10.1136/bmj-2021-066768
7. Зайцева Н.В., Клейн С.В., Глухих М.В. Пространственно-динамическая неоднородность течения эпидемического процесса в субъектах Российской Федерации (2020–2023 гг.) // *Анализ риска здоровью*. – 2023. – № 2. – С. 4–16. DOI: 10.21668/health.risk/2023.2.01
8. Exploring urban spatial features of COVID-19 transmission in Wuhan based on social media data / Z. Peng, R. Wang, L. Liu, H. Wu // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. – 2020. – Vol. 9, № 6. – P. 402. DOI: 10.3390/ijgi9060402
9. You H., Wu X., Guo X. Distribution of COVID-19 morbidity rate in association with social and economic factors in Wuhan, China: Implications for urban development // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – 2020. – Vol. 17, № 10. – P. 3417. DOI: 10.3390/ijerph17103417
10. Regional thermal environment changes: Integration of satellite data and land use/land cover / J. Ren, J. Yang, F. Wu, W. Sun, X. Xiao, J.C. Xia // *iScience*. – 2022. – Vol. 26, № 2. – P. 105820. DOI: 10.1016/j.isci.2022.105820
11. A mechanism-based parameterisation scheme to investigate the association between transmission rate of COVID-19 and meteorological factors on plains in China / C. Lin, A.K.H. Lau, J.C.H. Fung, C. Guo, J.W.M. Chan, D.W. Yeung, Y. Zhang, Y. Bo [et al.] // *Sci. Total Environ.* – 2020. – Vol. 737. – P. 140348. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140348
12. Studying the social determinants of COVID-19 in a data vacuum / K.H. Choi, P. Denice, M. Haan, A. Zajacova // *Can. Rev. Sociol.* – 2021. – Vol. 58, № 2. – P. 146–164. DOI: 10.1111/cars.12336
13. Copiello S., Grillenzoni C. The spread of 2019-nCoV in China was primarily driven by population density. Comment on “Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China” by Zhu et al. // *Sci. Total Environ.* – 2020. – Vol. 744. – P. 141028. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141028
14. Carteni A., Di Francesco L., Martino M. How mobility habits influenced the spread of the COVID-19 pandemic: Results from the Italian case study // *Sci. Total Environ.* – 2020. – Vol. 741. – P. 140489. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140489
15. Zhang C.H., Schwartz G.G. Spatial disparities in coronavirus incidence and mortality in the United States: An ecological analysis as of May 2020 // *J. Rural Health*. – 2020. – Vol. 36, № 3. – P. 433–445. DOI: 10.1111/jrh.12476



16. Connolly C., Keil R., Ali S.H. Extended urbanisation and the spatialities of infectious disease: demographic change, infrastructure and governance // *Urban Stud.* – 2020. – Vol. 58, № 3. – P. 004209802091087. DOI: 10.1177/0042098020910873
17. Boterman W.R. Urban-rural polarisation in times of the corona outbreak? The early demographic and geographic patterns of the SARS-CoV-2 epidemic in the Netherlands // *Tijdschr. Econ. Soc. Geogr.* – 2020. – Vol. 111, № 3. – P. 513–529. DOI: 10.1111/tesg.12437
18. McFarlane C. Critical Commentary: Repopulating density: COVID-19 and the politics of urban value // *Urban Stud.* – 2023. – Vol. 60, № 9. – P. 1548–1569. DOI: 10.1177/00420980211014810
19. Hamidi S., Sabouri S., Ewing R. Does Density Aggravate the COVID-19 Pandemic?: Early Findings and Lessons for Planners // *J. Am. Plan. Assoc.* – 2020. – Vol. 86, № 4. – P. 495–509. DOI: 10.1080/01944363.2020.1777891
20. Hamidi S., Hamidi I. Subway Ridership, Crowding, or Population Density: Determinants of COVID-19 Infection Rates in New York City // *Am. J. Prev. Med.* – 2021. – Vol. 60, № 5. – P. 614–620. DOI: 10.1016/j.amepre.2020.11.016
21. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) mortality and neighborhood characteristics in Chicago / M. Bryan, J. Sun, J. Jagai, D.E. Horton, A. Montgomery, R. Sargis, M. Argos // *Ann. Epidemiol.* – 2021. – Vol. 56. – P. 47–54.e5. DOI: 10.1016/j.annepidem.2020.10.011
22. Hong A., Chakrabarti S. Compact living or policy inaction? Effects of urban density and lockdown on the Covid-19 outbreak in the US // *Urban Stud.* – 2023. – Vol. 60, № 9. – P. 1588–1609. DOI: 10.1177/00420980221127401
23. Kawlra G., Sakamoto K. Spatialising urban health vulnerability: An analysis of NYC’s critical infrastructure during COVID-19 // *Urban Stud.* – 2023. – Vol. 60, № 9. – P. 1629–1649. DOI: 10.1177/00420980211044304
24. Introducing the “15-Minute City”: Sustainability, resilience and place identity in future post-pandemic cities / C. Moreno, Z. Allam, D. Chabaud, C. Gall, F. Pratlong // *Smart Cities.* – 2021. – Vol. 4, № 1. – P. 93–111. DOI: 10.3390/smartcities4010006
25. Guida C., Carpentieri G. Quality of life in the urban environment and primary health services for the elderly during the Covid-19 pandemic: An application to the city of Milan (Italy) // *Cities.* – 2021. – Vol. 110. – P. 103038. DOI: 10.1016/j.cities.2020.103038
26. Litman T. Pandemic-Resilient Community Planning: Practical Ways to Help Communities Prepare for, Respond to, and Recover from Pandemics and Other Economic, Social and Environmental Shocks. – 2020. – 27 p.
27. City size and the spreading of COVID-19 in Brazil / H.V. Ribeiro, A.S. Sunahara, J. Sutton, M. Perc, Q.S. Hanley // *PLoS One.* – 2020. – Vol. 15, № 9. – P. e0239699. DOI: 10.1371/journal.pone.0239699
28. Cities and infectious diseases: Assessing the exposure of pedestrians to virus transmission along city streets / A. Psyllidis, F. Duarte, R. Teeuwen, A. Salazar Miranda, T. Benson, A. Bozzon // *Urban Stud.* – 2023. – Vol. 60, № 9. – P. 1610–1628. DOI: 10.1177/00420980211042824
29. Пилясов А.Н., Замятина Н.Ю., Котов Е.А. Распространение пандемии COVID-19 в регионах России в 2020 году: модели и реальность // *Экономика региона.* – 2021. – Т. 17, № 4. – С. 1079–1095. DOI: 10.17059/ekon.reg.2021-4-3
30. Алов И.Н., Пилясов А.Н. Внутренние различия протекания пандемии коронавируса в Балтийском макрорегионе России // *Балтийский регион.* – 2023. – Т. 15, № 1. – С. 96–119. DOI: 105922/2079-8555-2023-1-6
31. Пилясов А.Н., Алов И.Н., Никитин Б.В. Пандемия COVID-19 в регионах Большой Сибири: диагностика хода процесса, взаимодействие с типами регионального пространства, характеристика особых случаев // *Регион: экономика и социология.* – 2023. – № 1 (117). – С. 3–43. DOI: 10.15372/REG20230101
32. Ambient fine particulate matter air pollution and the risk of hospitalization among COVID-19 positive individuals: Cohort study / B. Bowe, Y. Xie, A.K. Gibson, M. Cai, A. van Donkelaar, R.V. Martin, R. Burnett, Z. Al-Aly // *Environ. Int.* – 2021. – Vol. 154. – P. 106564. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106564
33. The neighborhood built environment and COVID-19 hospitalizations / A. Rigolon, J. Nermeth, B. Anderson-Gregson, A.R. Miller, P. deSouza, B. Montague, C. Hussain, K.M. Erlandson, S.E. Rowan // *PLoS One.* – 2023. – Vol. 18, № 6. – P. e0286119. DOI: 10.1371/journal.pone.0286119
34. Long-term exposure to fine particulate matter and hospitalization in COVID-19 patients / A. Mendy, X. Wu, J.L. Keller, C.S. Fassler, S. Apewokin, T.B. Mersha, C. Xie, S.M. Pinney // *Respir. Med.* – 2020. – Vol. 178. – P. 106313. DOI: 10.1016/j.rmed.2021.106313
35. Air pollution and its effects on the immune system / D.A. Glencross, T.-R. Ho, N. Camiña, C.M. Hawrylowicz, P.E. Pfeffer // *Free Radic. Biol. Med.* – 2020. – Vol. 151. – P. 56–68. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2020.01.179
36. Emerging role of air pollution and meteorological parameters in COVID-19 / C. Zhao, X. Fang, Y. Feng, X. Fang, J. He, H. Pan // *J. Evid. Based Med.* – 2021. – Vol. 14, № 2. – P. 123–138. DOI: 10.1111/jebm.12430
37. Role of atmospheric particulate matter exposure in COVID-19 and other health risks in human: A review / C. Zhu, K. Maharajan, K. Liu, Y. Zhang // *Environ. Res.* – 2021. – Vol. 198. – P. 111281. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111281
38. К оценке дополнительной заболеваемости населения COVID-19 в условиях загрязнения атмосферного воздуха: методические подходы и некоторые практические результаты / Н.В. Зайцева, И.В. Май, Ж. Рейс, П.С. Спенсер, Д.А. Кирьянов, М.Р. Камалудинов // *Анализ риска здоровью.* – 2021. – № 3. – С. 14–28. DOI: 10.21668/health.risk/2021.3.02
39. Влияние ограничений, обусловленных COVID-19, на качество воздуха в Москве / А.С. Гинзбург, В.А. Семенов, Е.Г. Семутникова, М.А. Алешина, П.В. Захарова, Е.А. Лезина // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле.* – 2020. – Т. 495, № 1. – С. 74–79. DOI: 10.31857/S2686739720110067
40. Поповичева О.Б., Чичаева М.А., Касимов Н.С. Влияние ограничительных мер во время пандемии на аэрозольное загрязнение атмосферы Московского мегаполиса // *Вестник Российской академии наук.* – 2021. – Т. 91, № 4. – С. 351–361. DOI: 10.31857/S0869587321040083
41. United in science 2020. A multi-organization high-level compilation of the latest climate science information. – Geneva: WMO, 2020. – 28 p.
42. Оценка термического стресса в арктическом городе в летний период / П.И. Константинов, М.И. Варенцов, М.Ю. Грищенко, Т.Е. Самсонов, Н.В. Шартова // *Арктика: экология и экономика.* – 2021. – Т. 11, № 2. – С. 219–231. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-2-219-231

43. Константинов П.И. Почему в городе теплее: географический подкаст [Электронный ресурс] // N+1: интернет-издание. – 2021. – URL: <https://nplus1.ru/blog/2021/01/22/heat-island> (дата обращения: 17.03.2024).
44. Влияние летней жары на состояние здоровья пациентов с умеренным и высоким риском сердечно-сосудистых осложнений / М.Д. Смирнова, Ф.Т. Агеев, О.Н. Свирида, Г.Г. Коновалова, А.К. Тихазе, В.З. Ланкин // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2013. – Т. 12, № 4. – С. 56–61. DOI: 10.15829/1728-8800-2013-4-56-61
45. Васильева А.В., Незнамов Н.Г., Соловьев А.Г. Ментальная экология в структуре пандемии COVID-19 (обзор литературы) // Экология человека. – 2022. – Т. 29, № 7. – С. 461–469. DOI: 10.17816/humeco81183
46. Шматова Ю.Е. Психическое здоровье населения в период пандемии: тенденции, последствия, факторы и группы риска // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 202–224. DOI: 10.15838/esc.2021.2.74.13
47. Ревич Б.А. Меняющийся климат и здоровье населения: проблемы адаптации: научный доклад / под ред. акад. Б.Н. Порфирьева. – М.: Динамик Принт, 2023. – 168 с. DOI: 10.47711/srl-2023
48. Wang W., He B.-J. Co-occurrence of urban heat and the COVID-19: Impacts, drivers, methods, and implications for the post-pandemic era // *Sustain. Cities Soc.* – 2023. – Vol. 90. – P. 104387. DOI: 10.1016/j.scs.2022.104387
49. Human behaviour change and its impact on urban climate: Restrictions with the G20 Osaka Summit and COVID-19 outbreak / K. Nakajima, Y. Takane, Y. Kikegawa, Y. Furuta, H. Takamatsu // *Urban Climate*. – 2021. – Vol. 35, № 8. – P. 100728. DOI: 10.1016/j.uclim.2020.100728
50. Taoufik M., Laghlami M., Fekri A. Comparison of land surface temperature before, during and after the COVID-19 lockdown using landsat imagery: A Case study of Casablanca City, Morocco // *Geomatics and Environmental Engineering*. – 2021. – Vol. 15, № 2. – P. 105–120. DOI: 10.7494/geom.2021.15.2.105
51. Актуальные проблемы изучения ультрафиолетовой радиации и озонового слоя / Н.Е. Чубарова, Е.Ю. Жданова, В.У. Хаттатов, П.Н. Варгин // Вестник Российской академии наук. – 2016. – Т. 86, № 9. – С. 839–846. DOI: 10.7868/S0869587316050030
52. Ультрафиолетовая облученность, УФ-индекс и их прогнозирование / М.И. Нахаев, Л.Б. Ананьев, Н.С. Иванова, А.М. Звягинцев, И.Н. Кузнецова, И.Ю. Шалыгина // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2014. – № 351. – С. 173–187.
53. Варгин П.Н., Фомин Б.А., Семенов В.А. Влияние озоновых мини-дыр в мае 2021 г. и в марте 2022 г. на отдельных территориях России на приземную УФ-радиацию по данным спутниковых наблюдений и моделирования // *Оптика атмосферы и океана*. – 2023. – Т. 36, № 4 (411). – С. 320–330. DOI: 10.15372/AOO20230409
54. Effects of the COVID-19 pandemic on the use and perceptions of urban green space: an international exploratory study / F. Ugolini, L. Massetti, P. Calaza-Martínez, P. Carinanos, C. Dobbs, S.K. Ostoic, A.M. Marin, D. Pearlmutter [et al.] // *Urban For. Urban Green*. – 2020. – Vol. 56. – P. 126888. DOI: 10.1016/j.ufug.2020.126888
55. Usage of urban green space and related feelings of deprivation during the COVID-19 lockdown: Lessons learned from an Italian case study / F. Ugolini, L. Massetti, D. Pearlmutter, G. Sanesi // *Land Use Policy*. – 2021. – Vol. 105. – P. 105437. DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105437
56. Mitigating the wider health effects of covid-19 pandemic response / M. Douglas, S.V. Katikireddi, M. Taulbut, M. McKee, G. McCartney // *BMJ*. – 2020. – Vol. 369. – P. m1557. DOI: 10.1136/bmj.m1557
57. Accessibility and allocation of public parks and gardens in England and Wales: A COVID-19 social distancing perspective / N. Shoari, M. Ezzati, J. Baumgartner, D. Malacarne, D. Fecht // *PLoS One*. – 2020. – Vol. 15, № 10. – P. e0241102. DOI: 10.1371/journal.pone.0241102
58. Urban parks as green buffers during the COVID-19 pandemic / J. Xie, S. Luo, K. Furuya, D. Sun // *Sustainability*. – 2020. – Vol. 12, № 17. – P. 6751. DOI: 10.3390/su12176751
59. Liu L. Emerging study on the transmission of the Novel Coronavirus (COVID-19) from urban perspective: Evidence from China // *Cities*. – 2020. – Vol. 103. – P. 102759. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102759
60. You Y., Pan S. Urban vegetation slows down the spread of coronavirus disease (COVID-19) in the United States // *Geophys. Res. Lett.* – 2020. – Vol. 47, № 18. – P. e2020GL089286. DOI: 10.1029/2020GL089286
61. Review of associations between built environment characteristics and severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 infection risk / J. Wang, X. Wu, R. Wang, D. He, D. Li, L. Yang, Y. Yang, Y. Lu // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – 2021. – Vol. 18, № 14. – P. 7561. DOI: 10.3390/ijerph18147561
62. Nature's contributions in coping with a pandemic in the 21st century: A narrative review of evidence during COVID-19 / S.M. Labib, M.H.E.M. Browning, A. Rigolon, M. Helbich, P. James // *Sci. Total Environ.* – 2022. – Vol. 833. – P. 155095. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155095
63. The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China / M.U.G. Kraemer, C.-H. Yang, B. Gutierrez, C.-H. Wu, B. Klein, D.M. Pigott, open COVID-19 data working group, L. du Plessis [et al.] // *Science*. – 2020. – Vol. 368, № 6490. – P. 493–497. DOI: 10.1126/science.abb4218
64. County-level exposures to greenness and associations with COVID-19 incidence and mortality in the United States / J.O. Klompmaker, J.E. Hart, I. Holland, M.B. Sabath, X. Wu, F. Laden, F. Dominici, P. James // *Environ. Res.* – 2021. – Vol. 199. – P. 111331. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111331
65. Change in time spent visiting and experiences of green space following restrictions on movement during the COVID-19 pandemic: A nationally representative cross-sectional study of UK adults / H. Burnett, J.R. Olsen, N. Nicholls, R. Mitchell // *BMJ Open*. – 2021. – Vol. 11, № 3. – P. e044067. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-044067
66. Astell-Burt T., Feng X. Time for 'green' during COVID-19? Inequities in green and blue space access, visitation and felt benefits // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – 2021. – Vol. 18, № 5. – P. 2757. DOI: 10.3390/ijerph18052757
67. WHO. Urban green spaces: a brief for action. – Copenhagen: World Health Organization, Regional Office for Europe, 2017.

68. Does size matter? Modelling the cooling effect of green infrastructures in a megacity during a heat wave / M. Varentsov, V. Vasenev, Y. Dvornikov, T. Samsonov, O. Klimanova // *Sci. Total Environ.* – 2023. – Vol. 902. – P. 165966. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.165966
69. Credit K. Neighbourhood inequity: Exploring the factors underlying racial and ethnic disparities in COVID-19 testing and infection rates using ZIP code data in Chicago and New York // *Reg. Sci. Policy Pract.* – 2020. – Vol. 12, № 6. – P. 1249–1272.
70. Tribby C.P., Hartmann C. COVID-19 cases and the built environment: Initial evidence from New York City // *Prof. Geogr.* – 2021. – Vol. 73, № 3. – P. 365–376. DOI: 10.1080/00330124.2021.1895851
71. Physical inactivity is associated with a higher risk for severe COVID-19 outcomes: a study in 48 440 adult patients / R. Sallis, D.R. Young, S.Y. Tartof, J.F. Sallis, J. Sall, Q. Li, G.N. Smith, D.A. Cohen // *Br. J. Sports Med.* – 2021. – Vol. 55, № 19. – P. 1099–1105. DOI: 10.1136/bjsports-2021-104080
72. Петров А.М., Цыпин А.П., Нуйкина Е.Ю. Статистическое изучение уровня распространения вируса COVID-19 в России и его влияния на экономику страны // *Экономические науки.* – 2022. – № 217. – С. 190–196. DOI: 10.14451/1.217.287
73. Щур А.Е., Соколова В.В., Тимонин С.А. Смертность трудоспособного населения России в начале XXI века: есть ли повод для оптимизма? // *Демографическое обозрение.* – 2023. – Т. 10, № 4. – С. 4–51. DOI: 10.17323/demreview.v10i4.18807
74. Русанова Н.Е. Социально-демографические реалии пандемии // *Анализ и моделирование экономических и социальных процессов: Математика. Компьютер. Образование.* – 2021. – № 28. – С. 66–76. DOI: 10.20537/mce2021econ06
75. Changes in recreational behaviors of outdoor enthusiasts during the COVID-19 pandemic: analysis across urban and rural communities / W. Rice, T. Mateer, N. Reigner, P. Newman, B. Lawhon, D. Taff // *J. Urban Ecol.* – 2020. – Vol. 6, № 1. – P. 1–7. DOI: 10.1093/jue/juaa020
76. Ahsan M. Strategic decisions on urban built environment to pandemics in Turkey: lessons from COVID-19 // *J. Urban Manag.* – 2020. – Vol. 9, № 3. – P. 281–285. DOI: 10.1016/j.jum.2020.07.001
77. Gouveia N., Kanai C. Pandemics, cities and public health // *Ambiente Sociedade.* – 2020. – Vol. 23, № 1954. DOI: 10.1590/1809-4422asoc20200120vu202013id
78. Urban Nature as a Source of Resilience during Social Distancing amidst the Coronavirus Pandemic / K. Samuelsson, S. Barthel, J. Colding, G. Macassa, M. Giusti // *OSFPreprints.* – 2020. DOI: 10.31219/osf.io/3wx5a
79. Stufano Melone M.R., Borgo S. Rethinking rules and social practices. The design of urban spaces in the post-COVID-19 lockdown // *TeMA – Journal of Land Use, Mobility and Environment.* – 2020. – Special Issue. Covid-19 vs City-20. – P. 333–341. DOI: 10.6092/1970-9870/6923
80. Maury-Mora M., Gomez-Villarino M.T., Varela-Martínez C. Urban green spaces and stress during COVID-19 lockdown: a case study for the city of Madrid // *Urban For. Urban Green.* – 2022. – Vol. 69. – P. 127492. DOI: 10.1016/j.ufug.2022.127492
81. Association between indoor-outdoor green features and psychological health during the COVID-19 lockdown in Italy: a cross-sectional nationwide study / G. Spano, M. D'Este, V. Giannico, M. Elia, R. Cassibba, R. Laforzezza, G. Sanesi // *Urban For. Urban Green.* – 2021. – Vol. 62. – P. 127156. DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127156
82. Understanding the Impact of the COVID-19 Pandemic on the Perception and Use of Urban Green Spaces in Korea / J. Kim, Y. Ko, W. Kim, G. Kim, J. Lee, O.T.G. Eyman, S. Chowdhury, J. Adiwali [et al.] // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2023. – Vol. 20, № 4. – P. 3018. DOI: 10.3390/ijerph20043018
83. Leone A., Balena P., Pelorosso R. Take advantage of the black swan to improve the urban environment // *TeMA – Journal of Land Use Mobility and Environment.* – 2020. – Special Issue. Covid-19 vs City-20. – P. 247–259. DOI: 10.6092/1970-9870/6851
84. Why Italy first? Health, geographical and planning aspects of the COVID-19 outbreak / B. Murgante, G. Borruso, G. Balletto, P. Castiglia, M. Dettori // *Sustainability.* – 2020. – Vol. 12, № 12. – P. 5064. DOI: 10.3390/su12125064
85. Bereitschaft B., Scheller D. How might the COVID-19 pandemic affect 21st century urban design, planning, and development? // *Urban Sci.* – 2020. – Vol. 4, № 4. – P. 56. DOI: 10.3390/urbansci4040056
86. Heart healthy cities: genetics loads the gun but the environment pulls the trigger / T. Munzel, M. Sorensen, J. Lelieveld, O. Hahad, S. Al-Kindi, M. Nieuwenhuijsen, B. Giles-Corti, A. Daiber, S. Rajagopalan // *Eur. Heart J.* – 2021. – Vol. 42, № 25. – P. 2422–2438. DOI: 10.1093/eurheartj/ehab235
87. Antunes M.E. Urban transformation post-pandemic: not business as usual [Электронный ресурс] // *Forbes.* – 2021. – URL: <https://www.forbes.com/sites/deloitte/2021/08/30/urban-transformation-post-pandemic-not-business-as-usual/?sh=298d9bfc34f1> (дата обращения: 16.03.2024).
88. Nieuwenhuijsen M.J., Hahad O., Münzel T. The COVID 19 pandemic as a starting point to accelerate improvements in health in our cities through better urban and transport planning // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* – 2022. – Vol. 29, № 12. – P. 16783–16785. DOI: 10.1007/s11356-021-18364-8
89. Оценка риска загрязнения окружающей среды для здоровья населения как инструмент муниципальной экологической политики в Московской области / С.Л. Авалиани, Б.А. Ревич, Б.М. Балтер, С.Р. Гильденскиольд, А.Л. Мишина, Е.Г. Кликушина. – М.: Библиотека газеты «Ежедневные новости. Подмосковье», 2010. – 309 с.
90. Выбор градостроительных решений по снижению загрязнения атмосферного воздуха в жилых районах выбросами автомобильного транспорта / М.А. Пинигин, В.Ф. Сидоренко, А.В. Антюфеев, В.В. Балакин // *Гигиена и санитария.* – 2021. – Т. 100, № 2. – С. 92–98. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-2-92-98
91. Май И.В., Кошуриков Д.Н. Учет шумового фактора при размещении жилой застройки как условие обеспечения благоприятной городской среды // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика.* – 2021. – № 3 (43). – С. 27–38. DOI: 10.15593/2409-5125/2021.03.03
92. Гордеев С.С. Визуализация трансформаций городского социального пространства // *Научный ежегодник Центра анализа и прогнозирования.* – Челябинск, 2023. – № 1 (7). – С. 31–60.
93. Гордеев С.С. Визуализация оценок «социальное пространство – городская воздушная среда» на примере Челябинской агломерации // *Научный ежегодник Центра анализа и прогнозирования.* – Челябинск, 2022. – № 1 (6). – С. 64–88.

94. Оценка выбросов загрязняющих веществ транспортными потоками на отдельных территориях Москвы / Ю.В. Трофименко, В.И. Комков, Б.А. Кутыпин, Д.А. Деянов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2020. – № 2 (61). – С. 84–91.

95. Ревич Б.А. Планирование городских территорий и здоровье населения: Аналитический обзор // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 1. – С. 157–169. DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.17

Ревич Б.А. Роль факторов риска городского пространства в пандемии COVID-19 (аналитический обзор) // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 170–184. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.16

UDC 613.6; 613.1; 616.9; 314.1  
DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.16.eng



Review

## COVID-19 PANDEMIC: THE ROLE OF RISK FACTORS RELATED TO URBAN SPACE (ANALYTICAL REVIEW)

**B.A. Revich**

Institute of Economic Forecasting of Russian Academy of Sciences, 47 Nakhimovskii Ave., Moscow, 117418, Russian Federation

*Comfortable urban environment plays a key role in protecting health of people residing in large urban settlements. At the same time, urban space has some peculiarities including high population and building density, imperfect traffic infrastructure, irrational planning decisions, elevated levels of ambient air pollution, heat islands and lack of urban green spaces. All these features of any urban space are significant health risk factors able to facilitate spread of respiratory diseases. This was the most evident during the COVID-19 pandemic. The analytical review examines the results of studies focusing on impacts exerted by these unfavorable urban conditions on COVID-19 infection, incidence, hospitalization and mortality in cities across the globe.*

*Influence of elevated population density on COVID-19 infection is shown to be ambiguous as compared to other risk factors. More reliable data are available on the impact of air pollutants, especially PM, on incidence and mortality rates from the infectious disease in question. Also, the COVID-19 virus and abnormally high temperatures were shown to produce combined effects on mental health during the pandemic.*

*To reduce levels of infection in urban population, a suggestion is to further develop urban infrastructure providing people with retail and other necessary facilities within a walking distance (15 minutes). An important conclusion has been made by experts on elevated risks of infection in dense foot traffic as compared to public buildings. Therefore, it is important to improve communications about the necessity of social distancing. Urban development that aims to reduce infection with respiratory diseases should involve better street aeration. The results of these studies in various cities across the globe gave grounds for making management decisions on providing better mobility in suburban areas in a more comfortable natural environment, developing green areas in cities, and reducing negative effects of the warming climate on heat islands and elevated levels of ambient air pollution. Large open green spaces are the most effective in this respect.*

**Keywords:** COVID-19, population health, health risks, public health, green spaces, city planning, territorial planning, urban planning, megacities.

## References

1. Kakderi C., Komninos N., Panori A., Oikonomaki E. Next city: learning from cities during COVID-19 to tackle climate change. *Sustainability*, 2021, vol. 13, pp. 3158. DOI: 10.3390/su13063158
2. Ali S.H., Keil R., Major C., Van Wagner E. Pandemics, place, and planning: Learning from SARS. *Plan Canada*, 2006, vol. 46, no. 3, pp. 34–36.
3. Ige-Elegbede J., Pilkington P., Orme J., Williams B., Prestwood E., Black D., Carmichael L. Designing healthier neighbourhoods: A systematic review of the impact of the neighbourhood design on health and wellbeing. *Cities Health*, 2020, vol. 6, no. 5, pp. 1004–1019. DOI: 10.1080/23748834.2020.1799173

© Revich B.A., 2024

**Boris A. Revich** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of Laboratory for Environment Quality Prediction and Population Health (e-mail: [brevich@yandex.ru](mailto:brevich@yandex.ru); tel.: +7 (499) 129-18-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7528-6643>).

4. Giles-Corti B., Vernez-Moudon A., Reis R., Turrell G., Dannenberg A.L., Badland H., Foster S., Lowe M. [et al.]. City planning and population health: A global challenge. *Lancet*, 2016, vol. 388, no. 10062, pp. 2912–2924. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)30066-6
5. Revich B.A., Shaposhnikov D.A. The COVID-19 Pandemic: New Knowledge on the Impact of Air Quality on the Spread of Coronavirus Infection in Cities. *Studies on Russian Economic Development*, 2021, vol. 32, no. 4, pp. 357–363. DOI: 10.1134/S1075700721040134
6. Islam N., Jdanov D., Shkolnikov V.M., Khunti K., Kawachi I., White M., Lewington S., Lacey B. Effects of COVID-19 pandemic in life expectancy and premature mortality in 2020: time serial analysis in 37 countries. *BMJ*, 2021, vol. 375, pp. e066768. DOI: 10.1136/bmj-2021-066768
7. Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Glukhikh M.V. Spatial-dynamic heterogeneity of the COVID-19 epidemic process in the Russian Federation regions (2020–2023). *Health Risk Analysis*, 2023, no. 2, pp. 4–16. DOI: 10.21668/health.risk/2023.2.01.eng
8. Peng Z., Wang R., Liu L., Wu H. Exploring urban spatial features of COVID-19 transmission in Wuhan based on social media data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2020, vol. 9, no. 6, pp. 402. DOI: 10.3390/ijgi9060402
9. You H., Wu X., Guo X. Distribution of COVID-19 morbidity rate in association with social and economic factors in Wuhan, China: Implications for urban development. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17, no. 10, pp. 3417. DOI: 10.3390/ijerph17103417
10. Ren J., Yang J., Wu F., Sun W., Xiao X., Xia J.C. Regional thermal environment changes: Integration of satellite data and land use/land cover. *iScience*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 105820. DOI: 10.1016/j.isci.2022.105820
11. Lin C., Lau A.K.H., Fung J.C.H., Guo C., Chan J.W.M., Yeung D.W., Zhang Y., Bo Y. [et al.]. A mechanism-based parameterisation scheme to investigate the association between transmission rate of COVID-19 and meteorological factors on plains in China. *Sci. Total Environ.*, 2020, vol. 737, pp. 140348. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140348
12. Choi K.H., Denice P., Haan M., Zajacova A. Studying the social determinants of COVID-19 in a data vacuum. *Can. Rev. Sociol.*, 2021, vol. 58, no. 2, pp. 146–164. DOI: 10.1111/cars.12336
13. Copiello S., Grillenzoni C. The spread of 2019-nCoV in China was primarily driven by population density. Comment on “Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China” by Zhu et al. *Sci. Total Environ.*, 2020, vol. 744, pp. 141028. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141028
14. Carteni A., Di Francesco L., Martino M. How mobility habits influenced the spread of the COVID-19 pandemic: Results from the Italian case study. *Sci. Total Environ.*, 2020, vol. 741, pp. 140489. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140489
15. Zhang C.H., Schwartz G.G. Spatial disparities in coronavirus incidence and mortality in the United States: An ecological analysis as of May 2020. *J. Rural Health*, 2020, vol. 36, no. 3, pp. 433–445. DOI: 10.1111/jrh.12476
16. Connolly C., Keil R., Ali S.H. Extended urbanisation and the spatialities of infectious disease: demographic change, infrastructure and governance. *Urban Stud.*, 2020, vol. 58, no. 3, pp. 004209802091087. DOI: 10.1177/0042098020910873
17. Boterman W.R. Urban-rural polarisation in times of the corona outbreak? The early demographic and geographic patterns of the SARS-CoV-2 epidemic in the Netherlands. *Tijdschr. Econ. Soc. Geogr.*, vol. 111, no. 3, pp. 513–529. DOI: 10.1111/tesg.12437
18. McFarlane C. Critical Commentary: Repopulating density: COVID-19 and the politics of urban value. *Urban Stud.*, 2023, vol. 60, no. 9, pp. 1548–1569. DOI: 10.1177/00420980211014810
19. Hamidi S., Sabouri S., Ewing R. Does Density Aggravate the COVID-19 Pandemic?: Early Findings and Lessons for Planners. *J. Am. Plan. Assoc.*, 2020, vol. 86, no. 4, pp. 495–509. DOI: 10.1080/01944363.2020.1777891
20. Hamidi S., Hamidi I. Subway Ridership, Crowding, or Population Density: Determinants of COVID-19 Infection Rates in New York City. *Am. J. Prev. Med.*, 2021, vol. 60, no. 5, pp. 614–620. DOI: 10.1016/j.amepre.2020.11.016
21. Bryan M., Sun J., Jagai J., Horton D.E., Montgomery A., Sargis R., Argos M. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) mortality and neighborhood characteristics in Chicago. *Ann. Epidemiol.*, 2021, vol. 56, pp. 47–54.e5. DOI: 10.1016/j.annepidem.2020.10.011
22. Hong A., Chakrabarti S. Compact living or policy inaction? Effects of urban density and lockdown on the Covid-19 outbreak in the US. *Urban Stud.*, 2023, vol. 60, no. 9, pp. 1588–1609. DOI: 10.1177/0042098021127401
23. Kawlra G., Sakamoto K. Spatialising urban health vulnerability: An analysis of NYC’s critical infrastructure during COVID-19. *Urban Stud.*, 2023, vol. 60, no. 9, pp. 1629–1649. DOI: 10.1177/00420980211044304
24. Moreno C., Allam Z., Chabaud D., Gall C., Pratlong F. Introducing the “15-Minute City”: Sustainability, resilience and place identity in future post-pandemic cities. *Smart Cities*, 2021, vol. 4, no. 1, pp. 93–111. DOI: 10.3390/smartcities4010006
25. Guida C., Carpentieri G. Quality of life in the urban environment and primary health services for the elderly during the Covid-19 pandemic: An application to the city of Milan (Italy). *Cities*, 2021, vol. 110, pp. 103038. DOI: 10.1016/j.cities.2020.103038
26. Litman T. Pandemic-Resilient Community Planning: Practical Ways to Help Communities Prepare for, Respond to, and Recover from Pandemics and Other Economic, Social and Environmental Shocks, 2020, 27 p.
27. Ribeiro H.V., Sunahara A.S., Sutton J., Perc M., Hanley Q.S. City size and the spreading of COVID-19 in Brazil. *PLoS One*, 2020, vol. 15, no. 9, pp. e0239699. DOI: 10.1371/journal.pone.0239699
28. Psyllidis A., Duarte F., Teeuwen R., Salazar Miranda A., Benson T., Bozzon A. Cities and infectious diseases: Assessing the exposure of pedestrians to virus transmission along city streets. *Urban Stud.*, 2023, vol. 60, no. 9, pp. 1610–1628. DOI: 10.1177/00420980211042824
29. Pilyasov A.N., Zamyatina N.Yu., Kotov E.A. The Spread of the Covid-19 Pandemic in Russian Regions in 2020: Models and Reality. *Ekonomika regiona*, 2021, vol. 17, no. 4, pp. 1079–1095. DOI: 10.17059/ekon.reg.2021-4-3 (in Russian).
30. Alov I.N., Pilyasov A.N. The spread of the COVID-19 infection in Russia’s Baltic macroregion: internal differences. *Baltiiskii region*, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 96–119. DOI: 10.5922/2079-8555-2023-1-6 (in Russian).
31. Pilyasov A.N., Alov I.N., Nikitin B.V. COVID-19 pandemic in the regions of Greater Siberia: diagnostics of the process, interaction with types of regional space, characteristics of special cases. *Region: ekonomika i sotsiologiya*, 2023, no. 1 (117), pp. 3–43. DOI: 10.15372/REG20230101 (in Russian).

32. Bowe B., Xie Y., Gibson A.K., Cai M., van Donkelaar A., Martin R.V., Burnett R., Al-Aly Z. Ambient fine particulate matter air pollution and the risk of hospitalization among COVID-19 positive individuals: Cohort study. *Environ. Int.*, 2021, vol. 154, pp. 106564. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106564
33. Rigolon A., Nermeth J., Anderson-Gregson B., Miller A.R., deSouza P., Montague B., Hussain C., Erlandson K.M., Rowan S.E. The neighborhood built environment and COVID-19 hospitalizations. *PLoS One*, 2023, vol. 18, no. 6, pp. e0286119. DOI: 10.1371/journal.pone.0286119
34. Mendy A., Wu X., Keller J.L., Fassler C.S., Apewokin S., Mersha T.B., Xie C., Pinney S.M. Long-term exposure to fine particulate matter and hospitalization in COVID-19 patients. *Respir. Med.*, 2020, vol. 178, pp. 106313. DOI: 10.1016/j.rmed.2021.106313
35. Glencross D.A., Ho T.-R., Camiña N., Hawrylowicz C.M., Pfeffer P.E. Air pollution and its effects on the immune system. *Free Radic. Biol. Med.*, 2020, vol. 151, pp. 56–68. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2020.01.179
36. Zhao C., Fang X., Feng Y., Fang X., He J., Pan H. Emerging role of air pollution and meteorological parameters in COVID-19. *J. Evid. Based Med.*, 2021, vol. 14, no. 2, pp. 123–138. DOI: 10.1111/jebm.12430
37. Zhu C., Maharajan K., Liu K., Zhang Y. Role of atmospheric particulate matter exposure in COVID-19 and other health risks in human: A review. *Environ. Res.*, 2021, vol. 198, pp. 111281. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111281
38. Zaitseva N.V., May I.V., Reis J., Spenser P., Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R. On estimating the additional incidence of covid-19 among populations exposed to polluted ambient air: methodical approaches and some practical results. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 3, pp. 14–28. DOI: 10.21668/health.risk/2021.3.02.eng
39. Ginzburg A.S., Semenov V.A., Aleshina M.A., Semutnikova E.G., Zakharova P.V., Lezina E.A. Impact of COVID-19 lockdown on air quality in Moscow. *Doklady Earth Sciences*, 2020, vol. 495, no. 1, pp. 862–866. DOI: 10.1134/S1028334X20110069
40. Popovicheva O.B., Chichaeva M.A., Kasimov N.S. Vliyanie ogranichitel'nykh mer vo vremya pandemii na aerol'noe zagryaznenie atmosfery Moskovskogo megapolisa [Impact of Restrictive Measures during the COVID-19 Pandemic on Aerosol Pollution in Ambient Air in Moscow Megalopolis]. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*, 2021, vol. 91, no. 4, pp. 351–361. DOI: 10.31857/S0869587321040083 (in Russian).
41. United in science 2020. A multi-organization high-level compilation of the latest climate science information. Geneva, WMO, 2020, 28 p.
42. Konstantinov P.I., Varentsov M.I., Grishchenko M.Yu., Samsonov T.E., Shartova N.V. Thermal stress assessment for an Arctic city in summer. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2021, vol. 11, no. 2, pp. 219–231. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-2-219-231 (in Russian).
43. Konstantinov P.I. Pochemu v gorode teplee [Why it is warmer in the city]. *N+1*, 2021. Available at: <https://nplus1.ru/blog/2021/01/22/heat-island> (March 17, 2024) (in Russian).
44. Smirnova M.D., Ageev F.T., Svirida O.N., Ratova L.G., Konovalova G.G., Tikhadze A.K., Lankin V.Z. Health effects of hot summer weather in patients with intermediate and high cardiovascular risk. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, 2013, vol. 12, no. 4, pp. 56–61. DOI: 10.15829/1728-8800-2013-4-56-61 (in Russian).
45. Vasileva A.V., Neznakov N.G., Soloviev A.G. Mental ecology in the structure of the COVID-19 pandemic (review). *Ekologiya cheloveka*, 2022, vol. 29, no. 7, pp. 461–469. DOI: 10.17816/humeco81183 (in Russian).
46. Shmatova Yu.E. Mental health of population in the COVID-19 pandemic: trends, consequences, factors, and risk groups. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2021, vol. 14, no. 2, pp. 201–224. DOI: 10.15838/esc.2021.2.74.13
47. Revich B.A. Menyayushchiysya klimat i zdorov'e naseleniya: problemy adaptatsii [Changing climate and population health: adaptation issues]: scientific report. In: Academician of the Russian Academy of Sciences B.N. Porfiryev ed. Moscow, Dinamik Print Publ., 2023, 168 p. DOI: 10.47711/srl-2023 (in Russian).
48. Wang W., He B.-J. Co-occurrence of urban heat and the COVID-19: Impacts, drivers, methods, and implications for the post-pandemic era. *Sustain. Cities Soc.*, 2023, vol. 90, pp. 104387. DOI: 10.1016/j.scs.2022.104387
49. Nakajima K., Takane Y., Kikegawa Y., Furuta Y., Takamatsu H. Human behaviour change and its impact on urban climate: Restrictions with the G20 Osaka Summit and COVID-19 outbreak. *Urban Climate*, 2021, vol. 35, no. 8, pp. 100728. DOI: 10.1016/j.uclim.2020.100728
50. Taoufik M., Laghlmi M., Fekri A. Comparison of land surface temperature before, during and after the Covid-19 lockdown using landsat imagery: A Case study of Casablanca City, Morocco. *Geomatics and Environmental Engineering*, 2021, vol. 15, no. 2, pp. 105–120. DOI: 10.7494/geom.2021.15.2.105
51. Chubarova N.E., Zhdanova E.Yu., Khatatov V.U., Vargin P.N. Aktual'nye problemy izucheniya ul'trafiol'tovoi radiatsii i ozonovogo sloya [Actual problems of studying the ultraviolet radiation and the ozone layer]. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*, 2016, vol. 86, no. 9, pp. 839–846. DOI: 10.7868/S0869587316050030 (in Russian).
52. Nahaev M.I., Anan'ev L.B., Ivanova N.S., Zvyagintsev A.M., Kuznetsova I.N., Shalygina I.Yu. Ul'trafiol'tovaya obluchennost', UF-indeks i ikh prognozirovaniye [Ultraviolet irradiation, UV index and its prediction]. *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiiskoi Federatsii*, 2014, no. 351, pp. 173–187 (in Russian).
53. Vargin P.N., Fomin B.A., Semenov V.A. Influence of ozone mini-holes over Russian territories in May 2021 and March 2022 revealed in satellite observations and simulation. *Optika atmosfery i okeana*, 2023, vol. 36, no. 4 (411), pp. 320–330. DOI: 10.15372/AOO20230409 (in Russian).
54. Ugolini F., Massetti L., Calaza-Martínez P., Carinanos P., Dobbs C., Ostoic S.K., Marin A.M., Pearlmutt D. [et al.]. Effects of the COVID-19 pandemic on the use and perceptions of urban green space: an international exploratory study. *Urban For. Urban Green.*, 2020, vol. 56, pp. 126888. DOI: 10.1016/j.ufug.2020.126888
55. Ugolini F., Massetti L., Pearlmutt D., Sanesi G. Usage of urban green space and related feelings of deprivation during the COVID-19 lockdown: Lessons learned from an Italian case study. *Land Use Policy*, 2021, vol. 105, pp. 105437. DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105437
56. Douglas M., Katikireddi S.V., Taulbut M., McKee M., McCartney G. Mitigating the wider health effects of COVID-19 pandemic response. *BMJ*, 2020, vol. 369, pp. m1557. DOI: 10.1136/bmj.m1557

57. Shoari N., Ezzati M., Baumgartner J., Malacarne D., Fecht D. Accessibility and allocation of public parks and gardens in England and Wales: A COVID-19 social distancing perspective. *PLoS One*, 2020, vol. 15, no. 10, pp. e0241102. DOI: 10.1371/journal.pone.0241102
58. Xie J., Luo S., Furuya K., Sun D. Urban parks as green buffers during the COVID-19 pandemic. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no. 17, pp. 6751. DOI: 10.3390/su12176751
59. Liu L. Emerging study on the transmission of the Novel Coronavirus (COVID-19) from urban perspective: Evidence from China. *Cities*, 2020, vol. 103, pp. 102759. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102759
60. You Y., Pan S. Urban vegetation slows down the spread of coronavirus disease (COVID-19) in the United States. *Geophys. Res. Lett.*, 2020, vol. 47, no. 18, pp. e2020GL089286. DOI: 10.1029/2020GL089286
61. Wang J., Wu X., Wang R., He D., Li D., Yang L., Yang Y., Lu Y. Review of associations between built environment characteristics and severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 infection risk. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, no. 14, pp. 7561. DOI: 10.3390/ijerph18147561
62. Labib S.M., Browning M.H.E.M., Rigolon A., Helbich M., James P. Nature's contributions in coping with a pandemic in the 21st century: A narrative review of evidence during COVID-19. *Sci. Total Environ.*, 2022, vol. 833, pp. 155095. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155095
63. Kraemer M.U.G., Yang C.-H., Gutierrez B., Wu C.-H., Klein B., Pigott D.M., open COVID-19 data working group, du Plessis L. [et al.]. The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China. *Science*, 2020, vol. 368, no. 6490, pp. 493–497. DOI: 10.1126/science.abb4218
64. Klompmaier J.O., Hart J.E., Holland I., Sabath M.B., Wu X., Laden F., Dominici F., James P. County-level exposures to greenness and associations with COVID-19 incidence and mortality in the United States. *Environ. Res.*, 2021, vol. 199, pp. 111331. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111331
65. Burnett H., Olsen J.R., Nicholls N., Mitchell R. Change in time spent visiting and experiences of green space following restrictions on movement during the COVID-19 pandemic: A nationally representative cross-sectional study of UK adults. *BMJ Open*, 2021, vol. 11, no. 3, pp. e044067. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-044067
66. Astell-Burt T., Feng X. Time for 'green' during COVID-19? Inequities in green and blue space access, visitation and felt benefits. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, no. 5, pp. 2757. DOI: 10.3390/ijerph18052757
67. WHO. Urban green spaces: a brief for action. Copenhagen, World Health Organization, Regional Office for Europe, 2017.
68. Varentsov M., Vasenev V., Dvornikov Y., Samsonov T., Klimanova O. Does size matter? Modelling the cooling effect of green infrastructures in a megacity during a heat wave. *Sci. Total Environ.*, 2023, vol. 902, pp. 165966. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.165966
69. Credit K. Neighbourhood inequity: Exploring the factors underlying racial and ethnic disparities in COVID-19 testing and infection rates using ZIP code data in Chicago and New York. *Reg. Sci. Policy Pract.*, 2020, vol. 12, no. 6, pp. 1249–1272.
70. Tribby C.P., Hartmann C. COVID-19 cases and the built environment: Initial evidence from New York City. *Prof. Geogr.*, 2021, vol. 73, no. 3, pp. 365–376. DOI: 10.1080/00330124.2021.1895851
71. Sallis R., Young D.R., Tartof S.Y., Sallis J.F., Sall J., Li Q., Smith G.N., Cohen D.A. Physical inactivity is associated with a higher risk for severe COVID-19 outcomes: a study in 48 440 adult patients. *Br. J. Sports Med.*, 2021, vol. 55, no. 19, pp. 1099–1105. DOI: 10.1136/bjsports-2021-104080
72. Petrov A.M., Tsylin A.P., Nuikina Yu.N. Statistical study of the spread of the COVID-19 virus in Russia and its impact on the country's economy. *Ekonomicheskie nauki*, 2022, no. 217, pp. 190–196. DOI: 10.14451/1.217.287 (in Russian).
73. Shchur A., Sokolova V., Timonin S. Midlife mortality in Russia at the beginning of the 21st century: is there any reason for optimism? *Demographic Review*, vol. 10, no. 4, pp. 4–51. DOI: 10.17323/demreview.v10i4.18807 (in Russian).
74. Rusanova N.E. Socio-economic facts surrounding the pandemic of COVID-19. *Analiz i modelirovanie ekonomicheskikh i sotsial'nykh protsessov: Matematika. Komp'yuter. Obrazovanie*, 2021, no. 28, pp. 66–76. DOI: 10.20537/mce2021econ06 (in Russian).
75. Rice W., Mateer T., Reigner N., Newman P., Lawhon B., Taff D. Changes in recreational behaviors of outdoor enthusiasts during the COVID-19 pandemic: analysis across urban and rural communities. *J. Urban Ecol.*, 2020, vol. 6, no. 1, pp. 1–7. DOI: 10.1093/jue/juaa020
76. Ahsan M. Strategic decisions on urban built environment to pandemics in Turkey: lessons from COVID-19. *J. Urban Manag.*, 2020, vol. 9, no. 3, pp. 281–285. DOI: 10.1016/j.jum.2020.07.001
77. Gouveia N., Kanai C. Pandemics, cities and public health. *Ambiente Sociedade*, 2020, vol. 23, no. 1954. DOI: 10.1590/1809-4422asoc20200120vu202013id
78. Samuelsson K., Barthel S., Colding J., Macassa G., Giusti M. Urban Nature as a Source of Resilience during Social Distancing amidst the Coronavirus Pandemic. *OSFPreprints*, 2020. DOI: 10.31219/osf.io/3wx5a
79. Stufano Melone M.R., Borgo S. Rethinking rules and social practices. The design of urban spaces in the post-COVID-19 lockdown. *TeMA – Journal of Land Use Mobility and Environment*, 2020, Special Issue. Covid-19 vs City-20, pp. 333–341. DOI: 10.6092/1970-9870/6923
80. Maury-Mora M., Gomez-Villarino M.T., Varela-Martinez C. Urban green spaces and stress during COVID-19 lockdown: a case study for the city of Madrid. *Urban For. Urban Green.*, 2022, vol. 69, pp. 127492. DOI: 10.1016/j.ufug.2022.127492
81. Spano G., D'Este M., Giannico V., Elia M., Cassibba R., Laforteza R., Sanesi G. Association between indoor-outdoor green features and psychological health during the COVID-19 lockdown in Italy: a cross-sectional nationwide study. *Urban For. Urban Green.*, 2021, vol. 62, pp. 127156. DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127156
82. Kim J., Ko Y., Kim W., Kim G., Lee J., Eyman O.T.G., Chowdhury S., Adiwaj J. [et al.]. Understanding the Impact of the COVID-19 Pandemic on the Perception and Use of Urban Green Spaces in Korea. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2023, vol. 20, no. 4, pp. 3018. DOI: 10.3390/ijerph20043018



83. Leone A., Balena P., Pelorosso R. Take advantage of the black swan to improve the urban environment. *TeMA – Journal of Land Use Mobility and Environment*, 2020, Special Issue. Covid-19 vs City-20, pp. 247–259. DOI: 10.6092/1970-9870/6851
84. Murgante B., Borruso G., Balletto G., Castiglia P., Dettori M. Why Italy first? Health, geographical and planning aspects of the COVID-19 outbreak. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no. 12, pp. 5064. DOI: 10.3390/su12125064
85. Bereitschaft B., Scheller D. How might the COVID-19 pandemic affect 21st century urban design, planning, and development? *Urban Sci.*, 2020, vol. 4, no. 4, pp. 56. DOI: 10.3390/urbansci4040056
86. Munzel T., Sorensen M., Lelieveld J., Hahad O., Al-Kindi S., Nieuwenhuijsen M., Giles-Corti B., Daiber A., Rajagopalan S. Heart healthy cities: genetics loads the gun but the environment pulls the trigger. *Eur. Heart J.*, 2021, vol. 42, no. 25, pp. 2422–2438. DOI: 10.1093/eurheartj/ehab235
87. Antunes M.E. Urban transformation post-pandemic: not business as usual. *Forbes*, 2021. Available at: <https://www.forbes.com/sites/deloitte/2021/08/30/urban-transformation-post-pandemic-not-business-as-usual/?sh=298d9bfc34f1> (March 16, 2024).
88. Nieuwenhuijsen M.J., Hahad O., Münzel T. The COVID 19 pandemic as a starting point to accelerate improvements in health in our cities through better urban and transport planning. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2022, vol. 29, no. 12, pp. 16783–16785. DOI: 10.1007/s11356-021-18364-8
89. Avaliani S.L., Revich B.A., Balter B.M., Gil'denskiol'd S.R., Mishina A.L., Klikushina E.G. Otsenka riska zagryazneniya okruzhayushchei sredy dlya zdorov'ya naseleniya kak instrument munitsipal'noi ekologicheskoi politiki v Moskovskoi oblasti [Assessment of Environmental Pollution Risk for Population Health as an Instrument of Municipal Environmental Policy in the Moscow Region Moscow]. Moscow, Biblioteka gazety «Ezhednevnye novosti. Podmoskov'e» Publ., 2010, 309 p. (in Russian).
90. Pinigin M.A., Sidorenko V.F., Antyufeyev A.V., Balakin V.V. Architectural choices aimed at reducing the air pollution by vehicle emissions in residential areas. *Gigiena i sanitariya*, 2021, vol. 100, no. 2, pp. 92–98. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-2-92-98 (in Russian).
91. May I., Koshurnikov D. Accounting the noise factor when placing residential buildings as a condition for ensuring a favorable urban environment. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*, 2021, no. 3 (43), pp. 27–38. DOI: 10.15593/2409-5125/2021.03.03 (in Russian).
92. Gordeev S.S. Vizualizatsiya transformatsii gorodskogo sotsial'nogo prostranstva [Visualization of transformations of urban social space]. *Nauchnyi ezhegodnik Tsentra analiza i prognozirovaniya*, Chelyabinsk, 2023, no. 1 (7), pp. 31–60 (in Russian).
93. Gordeev S.S. Vizualizatsiya otsenok «sotsial'noe prostranstvo – gorodskaya vozdukhaya sreda» na primere Chelyabinskoi aglomeratsii [Visualization of assessments “social space – urban air environment” using the example of the Chelyabinsk agglomeration]. *Nauchnyi ezhegodnik Tsentra analiza i prognozirovaniya*, Chelyabinsk, 2022, no. 1 (6), pp. 64–88 (in Russian).
94. Trofimenko Yu.V., Komkov V.I., Kutyrin B.A., Dejanov D.A. Assessment of pollutant emissions traffic flows on individual territories of Moscow. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*, 2020, no. 2 (61), pp. 84–91 (in Russian).
95. Revich B.A. Urban planning and public health: analytical review. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 1, pp. 147–161. DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.17.eng

Revich B.A. COVID-19 pandemic: the role of risk factors related to urban space (analytical review). *Health Risk Analysis*, 2024, no. 2, pp. 170–184. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.16.eng

Получена: 10.04.2024

Одобрена: 04.05.2024

Принята к публикации: 20.06.2024

УДК 614.2, 614.3, 614.4  
DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.17

Читать  
онлайн



Обзорная статья

## КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ РИСКОВ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ

Н.И. Шулакова, А.В. Тутельян, В.Г. Акимкин

Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии, Российская Федерация, 111123,  
г. Москва, ул. Новогиреевская, 3а

*Современным состоянием проблемы рисков в медицине является дефицит исследований, касающихся заболеваний, обусловленных трудовой деятельностью работников здравоохранения. Несмотря на достигнутые успехи современной медицины, использование высокотехнологического оборудования, риск профессиональных заболеваний в медицинских организациях остается на высоком уровне. В имеющихся немногочисленных источниках литературы предполагается, что фактический уровень профессиональной заболеваемости медицинских работников существенно выше официальных цифр, что не позволяет в полной мере оценить широту ее распространения. До настоящего времени не выработано унифицированного подхода к изучению заболеваемости медицинских работников. Анализ литературных данных показал, что исследования по изучению особенностей условий труда и здоровья медицинских работников, а также связанных с ними факторов риска носят фрагментарный характер и не охватывают в достаточной мере все необходимые аспекты. Сегодня не существует единой организационной системы профессиональной безопасности, включающей научное изучение этой проблемы. В целях эффективного обоснования выбора управленческих решений по регулированию воздействия факторов риска на здоровье сотрудников медицинских организаций целесообразным является необходимость создания концепции профессиональных рисков здоровью. Методология анализа профессиональных рисков здоровью призвана стать тем инструментом, который будет обеспечивать действенную политику в области сохранения и улучшения здоровья работников здравоохранения.*

**Ключевые слова:** медицинские работники, риски, профессиональные инфекции, профессиональная заболеваемость, условия труда.

Профессиональная деятельность медицинских работников и охрана их здоровья в условиях неблагоприятных факторов производственной среды является одной из актуальных проблем здравоохранения. Еще в начале XX в. выдающийся русский ученый и медик Владимир Бехтерев в статье «О положении врачей в России и об исследовании врачебного труда» отмечал, что «вопрос об охране здоровья медицинских работников (МР) в интересах охраны народного здоровья» важен, «подобно тому, как охрана материнства и детства важна в интересах здоровья будущего поколения»<sup>1</sup>.

Согласно опубликованным данным, статистика 20-х гг. прошлого столетия указывала на относи-

тельно высокую смертность врачей во всем мире. Было показано, что смертность врачей в те годы превышала среднюю смертность населения в целом в 9 раз<sup>1</sup>. Основными причинами высокой смертности врачей были гибель во время военных действий, смерть от сыпного тифа и других инфекционных заболеваний. Снижение смертности от инфекционных заболеваний в середине прошлого века привело к формированию мнения, что данная проблема решена [1]. Однако, согласно данным, изданным в зарубежной печати, в настоящее время ни в одной стране нет системы для отслеживания смертельных, приобретенных профессией инфекций в полном объеме. По оценкам, от 9 до 42 медицинских работ-

© Шулакова Н.И., Тутельян А.В., Акимкин В.Г., 2024

**Шулакова Надежда Ивановна** – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (e-mail: shulakova.msk@mail.ru; тел.: 8 (495) 974-96-46; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7913-1991>).

**Тутельян Алексей Викторович** – член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, руководитель лаборатории инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (e-mail: bio-tav@yandex.ru; тел.: 8 (495) 974-96-46; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2706-6689>).

**Акимкин Василий Геннадьевич** – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор (e-mail: [crie@pcr.ru](mailto:crie@pcr.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4228-9044>).

<sup>1</sup> Никифоров А.С. Бехтерев [Электронный ресурс]. – М.: Молодая гвардия, 1986. – URL: <https://www.rulit.me/books/behterev-read-227360-123.html> (дата обращения: 05.03.2024).

ников в мире на 1 млн населения ежегодно умирают от профессиональной инфекции. При этом уровень профессиональной смертности медиков достоверно неизвестен [2].

Еще в 1923 г. отечественные ученые (Э.М. Каган, М.Я. Лукомский, Н.А. Савельев и др.) подняли вопрос о необходимости создания в стране институтов гигиены труда и клиник профессиональных болезней. В это же время подраздел профессиональной гигиены Наркомтруда СССР совместно с санитарно-эпидемиологическим отделом Наркомздрава РСФСР подготовили проекты постановлений о регистрации профессиональных отравлений и заболеваний. Пионером введения обязательной регистрации профессиональных отравлений и заболеваний являлась Московская санитарная организация, представившая в Московский совет проект обязательного постановления по данному вопросу<sup>2</sup>. Имеющиеся ссылки в научной литературе свидетельствуют, что практически за весь период существования СССР конкретные сведения о зарегистрированных профессиональных заболеваниях среди медработников не публиковались в открытой печати, а находились (вплоть до 1985 г.) под грифом «для служебного пользования» [3, 4].

Согласно данным, опубликованным Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), работники сектора здравоохранения подвержены профессиональным рискам, среди которых наиболее распространены: воздействие вредных химических веществ, профессиональные инфекции, воздействие радиоактивного излучения, психосоциальные факторы риска и психическое здоровье, небезопасное обращение с пациентами, насилие и домогательство<sup>3</sup>. Работы отечественных авторов свидетельствуют, что труд медиков сопряжен с повышенным риском развития заболеваний различного генеза. Во время своей профессиональной деятельности медицинские работники могут подвергаться воздействию вредных и опасных факторов физической, химической и биологической природы, а также широкого спектра психофизиологических факторов [5]. Высокие уровни производственных факторов на рабочем месте вызывают развитие профессиональных и производственно обусловленных заболеваний, а также усугубляют другие проблемы со здоровьем [6]. Как следует из данных специальной оценки условий труда, представленные Департаментом условий и охраны труда Минтруда в 2019 г. в Самаре на 15-м Российском национальном конгрессе с международным участием «Профессия и здоровье», по доле вредных условий труда (56,7 %) здравоохранение находится на 2-м месте среди семи основных видов экономической деятельности, уступаая лишь добыче полезных ископаемых [7, 8].

Профессию медика можно отнести к группе риска по частоте нарушений здоровья и серьезности протекающих заболеваний. Согласно данным, приведенным в ряде работ отечественных авторов, лишь 2 % российских медиков признаны абсолютно здоровыми [9, 10]. Хронические болезни имеют 76 % медиков, и только 40 % из них состоят на диспансерном учете. У медицинских работников преобладают хронические полиэтиологические заболевания, формирующиеся под влиянием комплекса факторов, включающих образ и условия жизни, на фоне постоянно возрастающих профессиональных требований и нагрузки [9, 10]. С одной стороны, играет роль совокупность специфических факторов, составляющих профессиональный стресс, с другой – врачи подвержены тем же факторам риска хронических неинфекционных заболеваний, что и популяция в целом [11]. Основная доля профессиональных заболеваний приходится на средних медицинских работников [12, 13], у которых заболевания диагностируются при обращении за медпомощью, а не при проведении профосмотров. В РФ до 64 % от всех профзаболеваний, зарегистрированных у медработников разных специальностей, относились именно к медсестрам [12, 13].

Экспертным советом по здравоохранению Комитета Совета Федерации по социальной политике отмечено, что выявляемость профессиональной патологии у МР не превышает 10 % от реального числа случаев. Но эти предварительные выводы еще требуют дальнейшего развернутого научного обоснования [4, 10]. В настоящее время отмечается определенный дефицит исследований, касающихся заболеваний, обусловленных трудовой деятельностью. В имеющихся немногочисленных источниках литературы предполагается, что фактический уровень профессиональной заболеваемости МР существенно выше официальных цифр, что не позволяет в полной мере оценить широту ее распространения<sup>4</sup> [4, 8, 14–16].

До настоящего времени не выработано унифицированного подхода к изучению заболеваемости медицинских работников. Причинами недоучета профессиональной патологии медработников могут быть значительный латентный период от начала инфицирования, частая смена работы, дефекты регистрационного учета и др. В числе причин отсутствия достоверных сведений, связанных с профессиональной заболеваемостью медработников, следует отметить: склонность их к самолечению (по данным отечественных авторов, число таких медработников составляет около 80 %), низкий уровень обращаемости (в пределах 60–80 %) за медицинской помощью,

<sup>2</sup> Розанов Л.С. 50 лет организации в СССР работы по изучению и профилактике профессиональных болезней // Гигиена и санитария. – 1975. – № 8. – С. 41–43.

<sup>3</sup> Профессиональные риски в секторе здравоохранения [Электронный ресурс] // ВОЗ. – URL: <https://www.who.int/ru/tools/occupational-hazards-in-health-sector> (дата обращения: 19.03.2024).

<sup>4</sup> Косарев В.В., Бабанов С.А. Профессиональные болезни: учебник. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 368 с.

взаимопомощь коллег при оказании помощи по месту работы, нежелание регистрировать свое заболевание, несовершенство методологических алгоритмов донозологической диагностики, а также социально-экономические причины [8, 17, 18].

Г.Г. Бадамшиной показано, что обращаемость МР за квалифицированной медицинской помощью характеризуется следующими показателями: никогда не обращаются к специалистам узкого профиля и лечатся сами –  $26,0 \pm 3,3$  % опрошенных; обращаются только при тяжелой форме заболевания –  $58,0 \pm 3,8$  %<sup>5</sup>. По результатам опроса [19], проведенного среди сотрудников скорой медицинской помощи, 13,2 % респондентов относят себя к здоровым (I группа здоровья), 35,1 % – к практически здоровым (II группа здоровья), 39,2 % – к редко болеющим (III группа здоровья), и 12 % – к часто болеющим (IV группа здоровья). Ухудшению здоровья, по мнению медицинских работников, способствуют, с одной стороны, личные факторы: невнимание к своему здоровью (35 % респондентов), наличие хронических заболеваний (25,3 %), а с другой – внешние факторы, такие как специфика работы (34 % респондентов), экология (23 %), плохие условия работы (22,2 %).

Несмотря на достигнутые успехи современной медицины, использование высокотехнологического оборудования, уменьшение ручного труда, риск профессиональных заболеваний в медицинских организациях остается на высоком уровне. Во исполнение решения коллегии Роспотребнадзора «Актуальные вопросы надзора за ИСМП и совершенствование мер профилактики» и приказа от 26.01.2018 № 37 Референс-центром по мониторингу ИСМП ФБУН ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора (РЦ) в дополнение к данным раздела 3 «Внутрибольничные инфекции» формы федерального статистического наблюдения (ФФСН) № 2 разработаны статистические формы для проведения углубленного эпидемиологического анализа заболеваемости ИСМП с учетом факторов риска, которые были направлены в территориальные управления Роспотребнадзора всех субъектов РФ. Внесены дополнения в раздел 3 формы статистического наблюдения № 2 «Сведения об инфекционных и паразитарных заболеваниях» с включением с 2020 г. случаев ИСМП, связанных с исполнением служебных обязанностей у персонала медицинских организаций.

По данным Роспотребнадзора, уровень профессиональной заболеваемости в Российской Федерации в 2022 г., по сравнению с 2013 г., снизился на 44,13 % (2022 г. – 1,00 на 10 тыс. работников; 2013 г. – 1,79 на 10 тыс. работников). В структуре основных нозологий профпатологии при воздействии производствен-

ных биологических факторов первое ранговое место занимают заболевания, вызванные новой коронавирусной инфекцией, на их долю приходилось 91,44 %, второе – туберкулез (6,14 %), третье – бруцеллез (0,97 %). В 2022 г. зарегистрирован один случай профессионального заболевания, вызванного ВИЧ-инфекцией (0,16 %)<sup>6</sup>. Медицинские работники подвергаются профессиональному риску широкого спектра инфекций, которые вызывают серьезные заболевания и случайные смерти. В 2022 г. у персонала медицинских организаций зарегистрировано 41 254 случаев ИСМП, связанных с исполнением профессиональных обязанностей, что на 34 % ниже, чем в 2021 г. (63 225 случаев) [20].

Литературные данные свидетельствуют, что среди работников здравоохранения заболевания инфекционной этиологии в структуре профессиональной патологии занимают ведущее место (75,0–83,8 %), на втором месте находятся аллергические заболевания (контактный дерматит, бронхиальная астма и др.), на третьем – интоксикации и болезни опорно-двигательного аппарата [4, 8]. Большое значение в профилактике профессиональной заболеваемости медицинских работников по-прежнему имеет ранняя диагностика заболеваний [20]. При этом показано, что у работников сферы здравоохранения диагностируются, как правило, только те заболевания, которые уже нельзя скрыть, которые сами по себе приводят к формированию выраженных, тяжелых форм, вызывающих стойкую утрату трудоспособности. В первую очередь к ним следует отнести такие инфекции, как вирусный гепатит и туберкулез [4, 8].

Туберкулез остается очень важным профессиональным риском для работников здравоохранения [21]. Исследования, проведенные рядом авторов в различных странах мира, указывают на высокий риск передачи туберкулеза для пациентов и медицинских работников [21–30], что приводит к более высоким показателям заболеваемости данной инфекцией среди медицинских работников, чем среди населения в целом [24, 27, 30]. Средняя ежегодная заболеваемость туберкулезом, связанная с работой в сфере здравоохранения, составила 5,8 % (диапазон 0–11 %) в странах с низким уровнем дохода и 1,1 % (диапазон 0,2–12 %) в странах с высоким уровнем дохода [24]. Показатели активного туберкулеза среди медработников были неизменно выше, чем среди населения в целом во всех странах. Риск представлялся особенно высоким при повышенном воздействии в сочетании с неадекватными мерами инфекционного контроля [24].

В исследованиях показано, что риск заражения туберкулезом больничного персонала специализированных противотуберкулезных больниц может быть в 7,5–60 раз больше, чем для населения в це-

<sup>5</sup> Бадамшина Г.Г. Биологический риск развития нарушений здоровья у медицинских работников: дис. ... д-ра мед. наук. – Казань, 2022.

<sup>6</sup> О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. – 368 с.

лом<sup>7</sup> [31]. При этом он зависит от длительности и частоты нахождения сотрудника в среде, содержащей микобактерии туберкулеза [32–35]. Отличительными чертами туберкулеза у МР являются заражение мультирезистентными микобактериями, склонность к деструктивным формам туберкулеза, частое развитие осложнений, что может приводить к инвалидизации и летальности, а также возможности повторного заражения [3, 4, 30, 31, 36]. Ретроспективное когортное исследование с участием персонала Пекинской больницы грудной клетки в Китае с целью определения факторов риска, лежащих в основе внутрибольничной передачи туберкулеза, и использование данных за последние 13 лет показали, что система искусственной вентиляции в больнице без надлежащего обслуживания не обеспечивала эффективной противотуберкулезной защиты, в отличие от естественной<sup>8</sup>. Авторами отмечено, что результаты согласуются с другими сообщениями о заражении туберкулезом в медицинских учреждениях с неисправными или отсутствующими системами вентиляции [37], которые требуют регулярного обслуживания.

Около 26 различных вирусов могут быть ответственны за передачу инфекции на рабочем месте. При этом только три патогена (HBV, HCV, ВИЧ) являются причиной большинства случаев профессионально приобретенной инфекции, передаваемой через кровь. Показано, что глобальная распространенность острой инфекции вирусного гепатита В (ВГВ) среди медицинских работников составляет 5,3 % [38]. Инфицированность медиков гепатитом В (ГВ), по отдельным данным по России, может достигать 32,6 % [39].

Многочисленными исследованиями показано, что медицинские работники подвержены риску заражения гемоконтактными патогенами во время профессионального контакта с кровью и биологическими жидкостями [40–43]. Это происходит при попадании инфицированной биологической жидкости пациента на слизистые оболочки медработника, а также при случайном уколе или порезе использованным острым медицинским инструментом. По данным Центров США по контролю и профилактике заболеваний, ежегодно среди сотрудников больниц США происходит более 385 000 травм от уколов иглами. Травмы от уколов иглами и острыми предметами являются серьезной профессиональной опасностью для работников здравоохранения из-за риска сероконверсии [44]. Данные ВОЗ свидетельствуют, что доля заражений ГС, ГВ и ВИЧ от ран, нанесенных использованием игл, составляет 39, 37 и 4,4 % соответственно [45]. В зарубежных источниках опубликованы данные,

касающиеся отдаленных последствий инфицирования работников здравоохранения HBV и HCV. Показано, что ежегодно в мире около 100 медработников умирают из-за тяжелых отдаленных последствий, таких как цирроз печени или первичный рак печени. При этом ежедневно от ВГВ погибает один медицинский работник [46, 47].

Травмы от уколов иглами среди медицинских работников, являясь серьезной профессиональной опасностью, часто и ошибочно расцениваемой как низкий риск, усугубляются заниженной отчетностью [48]. G.A. Katsevan et al. было проведено перекрестное анкетирование студентов-медиков, студентов-медсестер и ординаторов, в ходе которого изучены показатели травматизма от уколов иглой, причины занижения информации и то, как явные заявления о том, что пациенты относятся к «группе высокого риска», могут повлиять на действия тех, кто подвержен риску получения травмы. Было показано: основной причиной непредоставления информации являлся факт того, что травма воспринималась как «тривиальная» (22 %), а пациент относился к категории «низкого риска» (18 %). Большинство опрошенных заявило, что следует обязать делать предоперационные объявления о «высоком риске» (91 %) и способствовать «культуре безопасности» (82 %), сообщению о травмах (85 %) и повышению концентрации во время процедур (70 %) [48]. Отечественными авторами отмечается, что российская процедурная медсестра в среднем получает одну травму на каждые 90 инъекций [9]. Причем, по признаниям самих медработников, только менее половины этих травм регистрируются в журналах аварийных ситуаций [49, 50].

Возникающие инфекционные заболевания: тяжелый острый респираторный синдром, птичий грипп ( $H_5N_1$ ) и свиной грипп ( $H_1N_1$ ) высветили риски серьезных легочных инфекций в результате профессионального воздействия, показали особую уязвимость медработников. Атипичная пневмония поразила 8096 человек во всем мире, 21 % из которых были медработниками [51, 52]. Известно, что SARS широко распространялся среди медработников в различных условиях. Во время вспышек в Гонконге и Торонто 62 % [53] и 51 % [54] инфицированных пациентов были медработниками. Во время первой вспышки гриппа А ( $H_5N_1$ ) в Гонконге в 1997 г. распространенность антител к  $H_5N_1$  была в пять раз выше у подвергшихся воздействию медработников, чем у не контактировавших с больными птичьим гриппом, т.е. 3,7 % (8 / 217) против 0,7 % (2 / 309)<sup>9</sup>.

<sup>7</sup> Сацук А.В. Особенности эпидемиологии и профилактики туберкулеза среди работников медицинских учреждений: дис. ... канд. мед. наук. – М., 2010. – 23 с.

<sup>8</sup> Политика ВОЗ по борьбе с туберкулезной инфекцией в медицинских учреждениях, местах скопления людей и домашних хозяйствах. – Женева: ВОЗ, 2009.

<sup>9</sup> Новая коронавирусная инфекция COVID-19: профессиональные аспекты сохранения здоровья и безопасности медицинских работников: методические рекомендации / под ред. И.В. Бухтиярова, Ю.Ю. Горбянского. – М.: АМТ, ФГБНУ «НИИ МТ», 2021. – 132 с.

За последние два десятилетия стали известны механизмы возникновения, а также эффективные стратегии преодоления различных вирусных инфекций: тяжелого острого респираторного синдрома (SARS-CoV, 2002 г.), ближневосточного коронавирусного синдрома (MERS-CoV, 2015 г.), крупной вспышки болезни Эбола в Западной Африке (2014–2015), вспышки лихорадки Зика (2016) и др. [55].

Если до 2020 г. в РФ основными профессиональными заболеваниями от воздействия биологического фактора были туберкулез и вирусные гепатиты, то начиная с 2020 г. мир столкнулся с еще одним инфекционным заболеванием профессиональной этиологии – заражение медработников новой коронавирусной инфекцией [56]. COVID-19 была определена как «первое новое профессиональное заболевание, описанное в этом десятилетии», по данным Общества медицины труда (Society of Occupational Medicine) [57], активность факторов риска заражения и заболевания определяет весовую долю группы заболеваний от воздействия производственного биологического фактора среди медицинских работников [58]. Более 10 % пациентов с подтвержденной новой коронавирусной инфекцией COVID-19 в различных странах на момент проведения исследования [59] были медицинскими работниками.

Подтверждением высокого риска заражения являлось нередко тяжелое течение заболевания и неблагоприятный исход COVID-19 у врачей различных профессиональных групп. Среди умерших преобладали мужчины (до 90 %) в возрасте старше 57 лет (75 %), преимущественно (52 %) врачи общей практики и отделений неотложной помощи, а также анестезиологи, стоматологи, отоларингологи и офтальмологи. Странами с наибольшим количеством зарегистрированных случаев были Италия (44 %), Иран (15 %), Филиппины (8 %), Индонезия (6 %) и Китай (6 %), Испания (4 %), США (4 %), Великобритания (4 %) [59; 60]. У медицинских работников факторами риска развития тяжелой формы COVID-19 и смертельных исходов являются пожилой возраст и наличие сопутствующих хронических заболеваний (гипертония, сахарный диабет, сердечно-сосудистые заболевания, хронические заболевания легких, ослабление иммунитета). На данный момент нет достоверных данных о том, как риски, связанные с сопутствующими заболеваниями, могут различаться в разных группах населения или условиях.

По данным систематического обзора 11 статей (из Китая, Сингапура, Италии, США) установлено пять основных факторов риска внутрибольничного заражения COVID-19 медицинских работников: длительный контакт с инфицированными пациента-

ми, недостаточное обеспечение (или их отсутствие) средствами индивидуальной защиты, перенапряжение на работе, некачественный инфекционный контроль (несоблюдение правил личной гигиены), сопутствующие заболевания. Заражение медработников связано с переполненностью отделений, длительным контактом с пациентами COVID-19, отсутствием помещений для изоляции и загрязнением окружающей рабочей среды. Так, показано что из 9292 случаев COVID-19 среди медицинских работников в США 55 % имели воздействие в медицинских учреждениях.

Катастрофические условия, созданные эпидемиями и пандемиями, бросали вызов на протяжении всего нашего существования, призывая к инновациям и предоставляя возможности таким дисциплинам, как анестезиология и реаниматология, добиться значительных успехов в своем развитии [61]. В этой пандемической битве анестезиологи и реаниматологи по всему миру оказались на передовой. «Пандемическое управление» персоналом отделения интенсивной терапии, анестезиологии и отделения неотложной помощи с персоналом, направленным в зону отделения интенсивной терапии и призванным работать с несколькими пациентами в соответствии с нехваткой персонала, создало прочную основу для «пандемического выгорания» среди медицинских работников [62].

Известно, что научные основы оценки профессионального риска включают в себя концепции Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ, World Health Organization, WHO), Международной организации труда (МОТ, International Labour Organization, ILO), Международные системы стандартов ISO (ИСО), директивы Евросоюза<sup>10</sup>. В 2011 г. в статью 209 Трудового кодекса РФ внесены определения терминов «профессиональный риск» (ПР) и «управление профессиональными рисками» (УПР). ПР – вероятность причинения вреда здоровью в результате воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов при исполнении работником обязанностей по трудовому договору. В последние годы появился ряд теорий по оценке и управлению рисками. Данные теории интенсивно развиваются и применяются в промышленных отраслях и объектах, но не применяются по отношению к деятельности медицинских учреждений.

В отечественной медицине труда разработана методология профессионального риска, которая позволяет прогнозировать вероятность заболеваний от основных факторов риска на работе<sup>11</sup>, оценивать степень связи с работой заболеваний, выявляемых при периодических медицинских осмотрах. Появились работы по применению интеллектуальных сис-

<sup>10</sup> Бектасова М.В. Научное обоснование системы профилактических мероприятий по снижению профессиональных рисков здоровью медицинских работников: дис. ... д-ра мед. наук. – Владивосток, 2020.

<sup>11</sup> Прогнозирование воздействия вредных факторов условий труда, и оценка профессионального риска для здоровья работников: Методические рекомендации / утв. Научным советом № 45 «Медико-экологические проблемы здоровья работающих» РАМН 9 ноября 2010 г. – М.: НИИ МТ РАМН, 2010.

тем для оценки риска в медицине труда [63] с целью совершенствования системы управления профессиональными рисками на основе доказательных данных<sup>12</sup> с включением прогностических механизмов, в том числе на основе современных биоинформационных технологий<sup>13</sup>. Решение этих задач предопределило сдвиг парадигмы к методологии оценки профессионального риска в медицине труда [64]. При этом в изученной литературе отсутствуют данные по разработке и применению современных исследовательских технологий по методам оценки экспозиции и прогнозирования вероятности эффектов для управления рисками здоровью среди такой многочисленной профессиональной группы, как медицинские работники<sup>14</sup>.

Таким образом, анализ литературных данных показал, что исследования по изучению особенностей условий труда и здоровья медицинских работников, а также связанных с ними факторов риска носят фрагментарный характер и не охватывают в достаточной мере все необходимые аспекты. Сегодня требуется научное обоснование и создание единой организационной системы обеспечения профессиональной безопасности медицинских кадров.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Эсауленко Е.В. Возрастающая роль инфекционных болезней в современном мире и значимость непрерывного медицинского образования специалистов для успешной борьбы с ними // Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого. – 2020. – № 3 (119). – С. 4–9. DOI: 10.34680/2076-8052.2020.3 (119).4-9
2. Sepkowitz K.A., Eisenberg L. Occupational deaths among healthcare workers // Emerg. Infect. Dis. – 2005. – Vol. 11, № 7. – P. 1003–1008. DOI: 10.3201/eid1107.041038
3. Бектасова М.В., Капцов В.А., Шепарев А.А. Структура профессиональной заболеваемости инфекционного генеза медицинского персонала лечебно-профилактических организаций, осуществляющих медицинскую деятельность Приморского края за 1996–2012 гг. // Охрана труда и техника безопасности в учреждениях здравоохранения. – 2013. – № 2. – С. 8–11.
4. Петрухин Н.Н. Профессиональная заболеваемость медработников в России и за рубежом (обзор литературы) // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 8. – С. 845–850. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-8-845-850
5. Дубель Е.В., Унгурияну Т.Н. Оценка восприятия медицинскими работниками факторов риска здоровью // Экология человека. – 2015. – № 2. – С. 33–34.
6. Боговская Е.А., Александрова О.Ю. Специальная оценка условий труда в медицинских организациях // Проблемы стандартизации в здравоохранении. – 2017. – № 11–12. – С. 17–22. DOI: 10.26347/1607-2502201911-12003-008
7. Корж В.А. Совершенствование системы оценки и мониторинга условий труда – залог здоровья работающих [Электронный ресурс] // Профессия и здоровье: Российский Национальный Конгресс с международным участием. – 2019. – URL: [https://congress.ob-events.ru/doc/arch/2019\\_plenSes-KorzhVA.pdf](https://congress.ob-events.ru/doc/arch/2019_plenSes-KorzhVA.pdf) (дата обращения: 31.01.24).
8. Жукова С.А., Смирнов И.В. Анализ условий и охраны труда работников сферы здравоохранения // Социально-трудовые исследования. – 2020. – № 41 (4). – С. 145–154. DOI: 10.34022/2658-3712-2020-41-4-145-154
9. Гатиятуллина Л.Л. Состояние здоровья медицинских работников // Вестник современной клинической медицины. – 2016. – Т. 9, Вып. 3. – С. 69–75. DOI: 10.20969/VSKM.2016.9 (3).69-75
10. Состояние здоровья медицинских работников (обзор литературы) / Т.А. Ермолина, Н.А. Мартынова, А.Г. Калинин, С.В. Красильников // Вестник новых медицинских технологий. – 2012. – Т. XIX, № 3. – С. 197.
11. Оценка состояния здоровья медицинских работников и их качества жизни при артериальной гипертензии / И.М. Гичева, К.Ю. Николаев, Г.А. Давидович, А.А. Николаева, Э.А. Отева, А.И. Ходанов, Д.К. Зейналова, Л.А. Тихонова // Здравоохранение Российской Федерации. – 2009. – № 6. – С. 20–24.
12. Основные причины и порядок установления профессиональных болезней у медицинских работников / Л.Н. Коричкина, О.В. Радьков, И.И. Комаров, О.Б. Поселюгина, Н.П. Романова // Медицинская сестра. – 2018. – Т. 20, № 8. – С. 44–47. DOI: 10.29296/25879979-2018-08-11
13. Куракова Н. Инфекционная безопасность медперсонала и пациентов в ЛПУ: пути ее достижения // Менеджер здравоохранения. – 2011. – № 10. – С. 70–71.
14. Котельников Г.П., Сушина Н.В., Аршин В.В. Новое в профилактике и лечении ортопедических заболеваний от функционального перенапряжения // Травматология и ортопедия России. – 2005. – № 1 (34). – С. 29–35.
15. Гарипова Р.В. Совершенствование системы мониторинга за состоянием здоровья медицинских работников // Казанский медицинский журнал. – 2011. – Т. 92, № 1. – С. 78–82.
16. Состояние иммунологической реактивности медицинских работников лечебно-профилактических учреждений / А.И. Леванюк, Т.А. Ермолина, Е.В. Сергеева, Н.А. Мартынова, А.Г. Калинин, Е.И. Кононов // Здравоохранение Российской Федерации. – 2011. – № 2. – С. 51–52.

<sup>12</sup> Власов В.В. Введение в доказательную медицину. – М.: Медиа Сфера, 2001. – 392 с.

<sup>13</sup> Р 2.2.3969-23. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и приоритеты оценки. – М., 2023.

<sup>14</sup> Бектасова М.В. Указ. соч.; Прогнозирование воздействия вредных факторов... – М.: НИИ МТ РАМН, 2010.



17. Профессиональная заболеваемость работников медицинских организаций Республики Башкортостан: многолетняя динамика, структура, особенности формирования / Н.С. Кондрова, Э.Р. Шайхлисламова, И.В. Сандакова, Н.И. Симонова, Н.Н. Карпова // Безопасность и охрана труда. – 2020. – № 3 (84). – С. 47–51.
18. Синдром выгорания врачей лучше всего лечится с помощью повышения зарплаты // Менеджер здравоохранения. – 2011. – № 7. – С. 64–69.
19. Поляков И.В., Добрицина А.А., Зеленская Т.М. Оценка состояния здоровья медицинских работников скорой медицинской помощи и влияющих на него факторов // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2012. – № 1. – С. 25–28.
20. Горблянский Ю.Ю. Актуальные вопросы профессиональной заболеваемости медицинских работников // Медицина труда и промышленная экология. – 2003. – № 1. – С. 8–12.
21. Туберкулез – фактор профессионального риска у работников медицинских организаций Самарской области / Н.В. Дудинцева, С.А. Бабанов, В.С. Лотков, Т.А. Азовская // Здоровье и безопасность на рабочем месте: Материалы II Международного научного форума. – Минск, 2018. – С. 295–298. DOI: 10.31089/978-985-7153-46-6-2018-1-2-295-298
22. Tuberculosis among health-care workers in low and middle income countries: a systematic review / R. Joshi, A.L. Reingold, D. Menzies, M. Pai // PLoS Med. – 2006. – Vol. 3, № 12. – P. e494. DOI: 10.1371/journal.pmed.0030494
23. Menzies D., Joshi R., Pai M. Risk of tuberculosis infection and disease associated with work in health care settings // Int. J. Tuberc. Lung Dis. – 2007. – Vol. 11, № 6. – P. 593–605.
24. Seidler A., Nienhaus A., Diehl R. Review of epidemiological studies on the occupational risk of tuberculosis in low-incidence areas // Respiration. – 2005. – Vol. 72, № 4. – P. 431–446. DOI: 10.1159/000086261
25. Increased risk of tuberculosis in health care workers: a retrospective survey at a teaching hospital in Istanbul, Turkey / C. Cuhadaroglu, M. Erelel, L. Tabak, Z. Kilicaslan // BMC Infect. Dis. – 2002. – Vol. 2. – P. 14. DOI: 10.1186/1471-2334-2-14
26. Risk of tuberculosis among healthcare workers: can tuberculosis be considered as an occupational disease? / O. Kilinc, E.S. Ucan, M.D.A. Cakan, M.D.H. Ellidokuz, M.D.D. Ozol, A. Sayiner, M.D.A. Ozsoz // Respir. Med. – 2002. – Vol. 96, № 7. – P. 506–510. DOI: 10.1053/rmed.2002.1315
27. Tuberculosis among health care workers / I. Baussano, P. Nunn, B. Williams, E. Pivetta, M. Bugiani, F. Scano // Emerg. Infect. Dis. – 2011. – Vol. 17, № 3. – P. 488–494. DOI: 10.3201/eid1703.100947
28. Occupational risk of tuberculosis transmission in an area with low morbidity / R. Diehl, A. Seidler, A. Nienhaus, S. Rusch-Gerdes, S. Nieman // Respir. Res. – 2005. – Vol. 6, № 1. – P. 35–45. DOI: 10.1186/1465-9921-6-35
29. Обеспечение мер биологической безопасности в бактериологических лабораториях противотуберкулезных учреждений РФ / Э.В. Севастьянова, В.А. Пузанов, Г.В. Волченков, Л.Н. Черноусова // Туберкулез и болезни легких. – 2017. – Т. 95, № 5. – С. 18–23. DOI: 10.21292/2075-1230-2017-95-5-18-23
30. Tuberculosis as an occupational hazard for health care workers in Estonia / A. Kruuner, M. Danilovitch, L. Pehme, T. Laisaar, S.E. Hoffner, M.L. Katila // Int. J. Tuberc. Lung Dis. – 2001. – Vol. 5, № 2. – P. 170–176.
31. Occupational risk of tuberculosis among health care workers at the Institute for Pulmonary Diseases of Serbia / V. Skodric, B. Savic, M. Jovanovic, I. Pesic, J. Videnovic, V. Zugic, J. Rakovic, M. Stojkovic // Int. J. Tuberc. Lung Dis. – 2000. – Vol. 4, № 9. – P. 827–831.
32. Tuberculosis in Staff and students of Patan Hospital / P. Shrestha, M. Shakya, M. Caws, S. Shrestha, B. Karki, S. Shrestha, D.B. Karki, B. Maharjan [et al.] // J. Nepal Health Res. Counc. – 2018. – Vol. 15, № 3. – P. 268–274. DOI: 10.3126/jnhrc.v15i3.18853
33. Why healthcare workers are sick of TB / A. von Delft, A. Dramowski, C. Khosa, K. Kotze, P. Lederer, T. Mosidi, J.A. Peters, J. Smith [et al.] // Int. J. Infect. Dis. – 2015. – Vol. 32. – P. 147–151. DOI: 10.1016/j.ijid.2014.12.003
34. Assessing infection control practices to protect health care workers and patients in Malawi from nosocomial transmission of Mycobacterium tuberculosis / R.J. Flick, A. Munthali, K. Simon, M. Hosseinipour, M.H. Kim, L. Mlauzi, P.N. Kazembe, S. Ahmed // PLoS One. – 2017. – Vol. 12, № 12. – P. e0189140. DOI: 10.1371/journal.pone.0189140
35. Стерликов С.А., Попов С.А., Сабгайда Т.П. Роль микробиологического обследования в программе борьбы с туберкулезом легких в России // Здравоохранение Российской Федерации. – 2014. – Т. 58, № 2. – С. 30–34.
36. Nosocomial tuberculosis transmission from 2006 to 2018 in Beijing Chest Hospital, China / Z. Xie, N. Zhou, Y. Chi, G. Huang, J. Wang, H. Gao, N. Xie, Q. Ma [et al.] // Antimicrob. Resist. Infect. Control. – 2020. – Vol. 9, № 1. – P. 165. DOI: 10.1186/s13756-020-00831-5
37. Global prevalence of hepatitis B virus serological markers among healthcare workers: A systematic review and meta-analysis / G. Mahamat, S. Kenmoe, E.W. Akazong, J.T. Ebogo-Belobo, D.S. Mbagi, A. Bowo-Ngandji, J.R. Foe-Essomba, M. Amougou-Atsama [et al.] // World J. Hepatol. – 2021. – Vol. 13, № 9. – P. 1190–1202. DOI: 10.4254/wjh.v13.i9.1190
38. Косарев В.В., Бабанов С.А. Профессиональные гепатиты у медицинских работников // Медицинская сестра. – 2010. – № 8. – С. 30–33.
39. Tarantola A., Abiteboul D., Rachline A. Infection risks following accidental exposure to blood or body fluids in health care workers: A review of pathogens transmitted in published cases // Am. J. Infect. Control. – 2006. – Vol. 34, № 6. – P. 367–375. DOI: 10.1016/j.ajic.2004.11.011
40. Prevalence and prevention of needlestick injuries among health care workers in a German university hospital / S. Wicker, J. Jung, R. Allwinn, R. Gottschalk, H.F. Rabenau // Int. Arch. Occup. Environ. Health. – 2008. – Vol. 81, № 3. – P. 347–354. DOI: 10.1007/s00420-007-0219-7
41. Частота выявления маркеров инфицирования вирусами парентеральных гепатитов среди медицинских работников в регионах Российской Федерации с различной интенсивностью эпидемиологического процесса / Г.Ю. Никитина, Т.А. Семенов, Т.П. Готвянская, И.Б. Хахаева, М.В. Коноплева, О.Г. Николаева, Л.В. Ярош, Л.К. Кожевникова, А.П. Суслов // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. – 2017. – Т. 19, № 2. – С. 161–167.
42. Global Occupational Exposure to Blood and Body Fluids among Healthcare Workers: Systematic Review and Meta-Analysis / D.A. Mengistu, G. Dirirsa, E. Mati, D.M. Ayele, K. Bayu, W. Deriba, F.K. Alemu, Y.M. Demmu [et al.] // Can. J. Infect. Dis. Med. Microbiol. – 2022. – Vol. 2022. – P. 5732046. DOI: 10.1155/2022/5732046

43. Marnejon T., Gemmel D., Mulhern K. Patterns of needlestick and sharps injuries among training residents // JAMA Intern. Med. – 2016. – Vol. 176, № 2. – P. 251–252. DOI: 10.1001/jamainternmed.2015.6828
44. Prüss-Ustün A., Rapiti E., Hutin Y. Estimation of the global burden of disease attributable to contaminated sharps injuries among health-care workers // Am. J. Ind. Med. – 2005. – Vol. 48, № 6. – P. 482–490. DOI: 10.1002/ajim.20230
45. Needlestick injuries during medical training / S. Deisenhammer, K. Radon, D. Nowak, J. Reichert. // J. Hosp. Infect. – 2006. – Vol. 63, № 3. – P. 263–267. DOI: 10.1016/j.jhin.2006.01.019
46. Hofmann F., Kralj N., Beie M. Needle stick injuries in health care –frequency, causes und preventive strategies // Gesundheitswesen. – 2002. – Vol. 64, № 5. – P. 259–266. DOI: 10.1055/s-2002-28353
47. Interdisciplinary differences in needlestick injuries among healthcare professionals in training: Improving situational awareness to prevent high-risk injuries / G.A. Katsevman, C.L. Sedney, J.A. Braca III, L. Hatchett // Work. – 2020. – Vol. 65, № 3. – P. 635–645. DOI: 10.3233/WOR-203118
48. Профилактика заражения медицинских работников гемотрансмиссивными инфекциями // Охрана труда и пожарная безопасность в учреждениях здравоохранения. – 2016. – № 8. – С. 45–48.
49. Оценка риска профессиональной инфекционной заболеваемости у медицинских работников / А.М. Спиридонов, И.И. Березин, Г.А. Никифорова [и др.] // Охрана труда и техника безопасности в учреждениях здравоохранения. – 2012. – № 2. – С. 10–12.
50. Ho P.L., Becker M.M., Chang-Yong M.M. Emerging occupational lung infections // Int. J. Tuberc. Lung Dis. – 2005. – Vol. 11, № 7. – P. 710–721.
51. The etiology, origin and diagnosis of severe acute respiratory syndrome / L.L. Pon, I. Guan, J.M. Nicholls, K.I. Yuen, J.S. Paris // Lancet Infect. Dis. – 2004. – Vol. 4, № 11. – P. 663–671. DOI: 10.1016/C1473-3099(04)01172-7
52. A major outbreak of severe acute respiratory syndrome in Hong Kong / N. Lee, D. Hui, A. Wu, P. Chan, P. Cameron, G.M. Joynt, A. Ahuja, M.Y. Yung [et al.] // N. Engl. J. Med. – 2003. – Vol. 348, № 20. – P. 1986–1994. DOI: 10.1056/NEJMoa030685
53. Clinical features and short-term results of 144 patients with atypical pneumonia in the Greater Toronto area / K.M. Booth, L.M. Matukas, G.A. Tomlinson, A.R. Rakhlis, D.B. Rose, H.A. Dvosh, S.L. Walmsley, T. Mazzulli [et al.] // JAMA. – 2003. – Vol. 289, № 21. – P. 2801–2809. DOI: 10.1001/jama.289.21.JOC30885
54. Risk of influenza A (H5N1) infection among health care workers exposed to influenza A (H5N1) patients, Hong Kong / S. Buxton Bridges, J.M. Katz, V.H. Seto, P.K. Chan, D. Tsang, V. Ho, K.H. Mack, V. Lim [et al.] // J. Infect. Dis. – 2000. – Vol. 181, № 1. – P. 344–348. DOI: 10.1086/315213
55. Профессиональные заболевания медицинских работников от воздействия инфекционных агентов: современное состояние проблемы / Р.В. Гарипова, Л.А. Стрижаков, К.Т. Умбетова, К.Р. Сафина // Медицина труда и промышленная экология. – 2021. – Т. 61, № 1. – С. 13–17. DOI: 10.31089/1026-9428-2021-61-1-13-17
56. Koh D. Occupational risks for COVID-19 infection // Occup. Med. (Lond.). – 2020. – Vol. 70, № 1. – P. 3–5. DOI: 10.1093/occmed/kqaa036
57. Профессиональная патология в Республике Башкортостан в период коронавирусной пандемии / Э.Р. Шайхлисламова, Э.Т. Валеева, В.Т. Ахметшина, А.И. Маликова, Р.Ф. Сагадиева // Анализ риска здоровью – 2021. Внешне-средовые, социальные, медицинские и поведенческие аспекты. Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2021: Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Пермь, 18–20 мая 2021 г. – Т. 1. – С. 124–127.
58. COVID-19 in health care workers – A systematic review and meta-analysis / A.K. Sahu, V.T. Amrithanand, R. Mathew, P. Aggarwal, J. Nayer, S. Bhoi // Am. J. Emerg. Med. – 2020. – Vol. 38, № 9. – P. 1727–1731. DOI: 10.1016/j.ajem.2020.05.113
59. Physician deaths from corona virus (COVID-19) disease / E.B. Ing, Q.A. Xu, A. Salimi, N. Torun // Occup. Med. (Lond.). – 2020. – Vol. 70, № 5. – P. 370–374. DOI: 10.1093/occmed/kqaa088
60. Jayadevan R. A hundred lives lost: doctor deaths in India during the times of COVID-19 // Preprints. – 2020. – P. 2020070346. DOI: 10.20944/preprints202007.0346.v1
61. Левин А.Б., Бол К.М., Фезерстоун П.Дж. От холеры до COVID-19: как пандемии повлияли на развитие анестезиологии и интенсивной терапии // Анестезиология и реаниматология. – 2020. – Т. 48, Вып. 3. – С. 28–38.
62. Murthy V.H. Confronting Health Worker Burnout and Well-Being // N. Engl. J. Med. – 2022. – Vol. 387, № 7. – P. 577–579. DOI: 10.1056/NEJMp2207252
63. Степанян И.В., Денисов Э.И. Применение интеллектуальных информационных систем для прогнозирования оценки рисков для здоровья // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2009. – № 12. – С. 69–74.
64. Сдвиг парадигмы в гигиене труда: прогнозирование и каузация как основа управления риском / Э.И. Денисов, Л.В. Прокопенко, Г.В. Голованева, И.В. Степанян // Гигиена и санитария. – 2012. – Т. 91, № 5. – С. 62–65.

*Шулакова Н.И., Тутельян А.В., Акимкин В.Г. Ключевые аспекты рисков в профессиональной деятельности медицинских работников // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 185–195. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.17*

UDC 614.2, 614.3, 614.4  
DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.17.eng

Read  
online



Review

## KEY ASPECTS OF OCCUPATIONAL RISKS FOR HEALTHCARE WORKERS

**N.I. Shulakova, A.V. Tutelyan, V.G. Akimkin**

Central Research Institute of Epidemiology, 3a Novogireevskaya St., Moscow, 111123, Russian Federation

*At present, the greatest challenge associated with risks in healthcare is the lack of research on occupational diseases associated with healthcare workers' activities. Despite all achievements of the modern medicine and use of high-tech equipment, occupational health risks remain high in healthcare organizations. Few available literature sources assume that the level of actual occupational morbidity among healthcare workers is considerably higher than the official figures. This does not allow us to fully assess its prevalence. No unified approaches to investigating morbidity among healthcare workers have been developed yet. Analysis of available literature sources has revealed that most studies with their focus on peculiarities of working conditions and health of healthcare workers as well as associated risk factors are rather fragmentary and do not fully encompass all relevant aspects. At present, there is no unified organizational system for occupational safety that includes, among other things, scientific study of the issue. It is advisable to create a concept of occupational health risks in order to provide effective substantiation for selecting managerial decisions on regulation of effects produced by risk factors on personnel employed by healthcare organizations. The methodology for occupational health risk analysis is eligible for becoming an instrument that can ensure an effective policy aimed at protecting and promoting health of healthcare workers.*

**Keywords:** healthcare workers, risks, occupational infections, occupational morbidity, working conditions.

### References

1. Esaulenko E.V. The growing role of infectious diseases in the modern world and the importance of continuing medical education of specialists for the successful fight against them. *Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. Yaroslava Mudrogo*, 2020, no. 3 (119), pp. 4–9. DOI: 10.34680/2076-8052.2020.3 (119).4-9 (in Russian).
2. Sepkowitz K.A., Eisenberg L. Occupational deaths among healthcare workers. *Emerg. Infect. Dis.*, 2005, vol. 11, no. 7, pp. 1003–1008. DOI: 10.3201/eid1107.041038
3. Bektasova M.V., Kaptsov V.A., Sheparev A.A. Struktura professional'noi zaboлеваemosti infektsionnogo geneza meditsinskogo personala lechebno-profilakticheskikh organizatsii, osushchestvlyayushchikh meditsinskuyu deyatel'nost' Primorskogo kraia za 1996–2012 gg. [The structure of occupational morbidity of infectious genesis of healthcare workers employed by medical and preventive organizations and engaged in medical activities in Primorsky Krai for 1996–2012]. *Okhrana truda i tekhnika bezopasnosti v uchrezhdeniyakh zdravookhraneniya*, 2013, no. 2, pp. 8–11 (in Russian).
4. Petrukhin N.N. Prevalence of occupational morbidity among healthcare workers in the Russian Federation and abroad (literature review). *Gigiena i sanitariya*, 2021, vol. 100, no. 8, pp. 845–850. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-8-845-850 (in Russian).
5. Dubel E.V., Unguryanu T.N. Estimation of health risk factors perception by medical workers. *Ekologiya cheloveka*, 2015, no. 2, pp. 33–34 (in Russian).
6. Bogovskaya E.A., Aleksandrova O.Y. Current problems of special assessment of labor standards in medical services. *Problemy standartizatsii v zdravookhranении*, 2017, no. 11–12, pp. 17–22. DOI: 10.26347/1607-2502201911-12003-008 (in Russian).
7. Korzh V.A. Sovershenstvovanie sistemy otsenki i monitoringa uslovii truda – zalog zdorov'ya rabotayushchikh [Improving the system of assessment and monitoring of working conditions is the key to workers' health]. *Occupation and Health: Russian National Congress with International Participation*, 2019. Available at: [https://congress.oh-events.ru/doc/arch/2019\\_plenSes-KorzhVA.pdf](https://congress.oh-events.ru/doc/arch/2019_plenSes-KorzhVA.pdf) (January 31, 2024).
8. Zhukova S.A., Smirnov I.V. Analysis of labour conditions and protection of healthcare workers. *Sotsial'no-trudovye issledovaniya*, 2020, no. 41 (4), pp. 145–154. DOI: 10.34022/2658-3712-2020-41-4-145-154 (in Russian).
9. Gatiyatullina L.L. Health status of medical professionals. *Vestnik sovremennoi klinicheskoi meditsiny*, 2016, vol. 9, iss. 3, pp. 69–75. DOI: 10.20969/VSKM.2016.9 (3).69-75 (in Russian).
10. Ermolina T.A., Martynova N.A., Kalinin A.G., Krasilnikov S.V. Medical workers' state of health; literature review. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii*, 2012, vol. XIX, no. 3, pp. 197 (in Russian).

© Shulakova N.I., Tutelyan A.V., Akimkin V.G., 2024

**Nadezhda I. Shulakova** – Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Infections related to the Provision of Medical Care (e-mail: [shulakova.msk@mail.ru](mailto:shulakova.msk@mail.ru); tel.: +7 (495) 974-96-46; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7913-1991>).

**Alexey V. Tutelyan** – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Infections related to the Provision of Medical Care (e-mail: [bio-tav@yandex.ru](mailto:bio-tav@yandex.ru); tel.: +7 (495) 974-96-46; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2706-6689>).

**Vasilij G. Akimkin** – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, director (e-mail: [crie@pcr.ru](mailto:crie@pcr.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4228-9044>).

11. Gicheva I.M., Nikolaev K.Y., Davidovich G.A., Nikolaeva A.A., Oteva E.A., Khodanov A.I., Zeinalova D.K., Tikhonova L.A. Evaluation of the health status of medical workers and their life quality in arterial hypertension. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*, 2009, no. 6, pp. 20–24 (in Russian).
12. Korichkina L.N., Radkov O.V., Komarov I.I., Poselyugina O.B., Romanova N.P. The main reasons and procedure for identifying occupational diseases among healthcare workers. *Meditsinskaya sestra*, 2018, vol. 20, no. 8, pp. 44–47. DOI: 10.29296/25879979-2018-08-II (in Russian).
13. Kurakova N. Infektsionnaya bezopasnost' medpersonal i patsientov v LPU: puti ee dostizheniya [Infectious safety of medical staff and patients in healthcare institutions: ways to achieve]. *Menedzher zdravookhraneniya*, 2011, no. 10, pp. 70–71 (in Russian).
14. Kotelnikov G.P., Sushina N.V., Arshin V.V. The new method of prophylaxis and treatment of orthopedic diseases from functional overstrain. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*, 2005, no. 1 (34), pp. 29–35 (in Russian).
15. Garipova R.V. Improving the monitoring of the health status of medical workers. *Kazanskii meditsinskii zhurnal*, 2011, vol. 92, no. 1, pp. 78–82 (in Russian).
16. Levanyuk A.I., Ermolina T.A., Sergeyeva E.V., Martynova N.A., Kalinin A.G., Kononov E.I. Immunological responsiveness in medical workers of therapeutic-and-prophylactic institutions. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*, 2011, no. 2, pp. 51–52 (in Russian).
17. Kondrova N.S., Shaikhislamova E.R., Sandakova I.V., Simonova N.I., Karpova N.N. Occupational morbidity among healthcare workers in the Republic of Bashkortostan: long-term dynamics, structure, specificities of formation. *Bezopasnost' i okhrana truda*, 2020, no. 3 (84), pp. 47–51 (in Russian).
18. Sindrom vygoraniya vrachei luchshe vsego lechitsya s pomoshch'yu povysheniya zarplaty [Doctors' burnout syndrome is best treated with a salary increase]. *Menedzher zdravookhraneniya*, 2011, no. 7, pp. 64–69 (in Russian).
19. Polyakov I.V., Dobritsyna A.A., Zelenskaya T.M. The evaluation of health of medical personnel of ambulance care and impacting factors. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny*, 2012, no. 1, pp. 25–28 (in Russian).
20. Gorblyansky Yu.Yu. Topical problems of occupational morbidity among medical staffers. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2003, no. 1, pp. 8–12 (in Russian).
21. Dudintseva N.V., Babanov S.A., Lotkov V.S., Azovskova T.A. Tuberculosis – a factor of professional risk for medical organizations employees of the Samara region. *Health And Safety At The Workplace: Materials of the II International Scientific forum*, Minsk, 2018, pp. 295–298. DOI: 10.31089/978-985-7153-46-6-2018-1-2-295-298 (in Russian).
22. Joshi R., Reingold A.L., Menzies D., Pai M. Tuberculosis among health-care workers in low and middle income countries: a systematic review. *PLoS Med.*, 2006, vol. 3, no. 12, pp. e494. DOI: 10.1371/journal.pmed.0030494
23. Menzies D., Joshi R., Pai M. Risk of tuberculosis infection and disease associated with work in health care settings. *Int. J. Tuberc. Lung Dis.*, 2007, vol. 11, no. 6, pp. 593–605.
24. Seidler A., Nienhaus A., Diel R. Review of epidemiological studies on the occupational risk of tuberculosis in low-incidence areas. *Respiration*, 2005, vol. 72, no. 4, pp. 431–446. DOI: 10.1159/000086261
25. Cuhadaroglu C., Erelel M., Tabak L., Kilicaslan Z. Increased risk of tuberculosis in health care workers: a retrospective survey at a teaching hospital in Istanbul, Turkey. *BMC Infect. Dis.*, 2002, vol. 2, pp. 14. DOI: 10.1186/1471-2334-2-14
26. Kilinc O., Ucan E.S., Cakan M.D.A., Ellidokuz M.D.H., Ozol M.D.D., Sayiner A., Ozsoz M.D.A. Risk of tuberculosis among healthcare workers: can tuberculosis be considered as an occupational disease? *Respir. Med.*, 2002, vol. 96, no. 7, pp. 506–510. DOI: 10.1053/rmed.2002.1315
27. Baussano I., Nunn P., Williams B., Pivetta E., Bugiani M., Scano F. Tuberculosis among healthcare workers. *Emerg. Infect. Dis.*, 2011, vol. 17, no. 3, pp. 488–494. DOI: 10.3201/eid1703.100947
28. Diehl R., Seidler A., Nienhaus A., Rusch-Gerdes S., Nieman S. Occupational risk of tuberculosis transmission in an area with low morbidity. *Respir. Res.*, 2005, vol. 6, no. 1, pp. 35–45. DOI: 10.1186/1465-9921-6-35
29. Sevastyanova E.V., Puzanov V.A., Volchenkov G.V., Chernousova L.N. Biosafety provisions in bacteriological laboratories of the Russian TB units. *Tuberkulez i bolezni legkikh*, 2017, vol. 95, no. 5, pp. 18–23. DOI: 10.21292/2075-1230-2017-95-5-18-23 (in Russian).
30. Kruuner A., Danilovitch M., Pehme L., Laisaar T., Hoffner S.E., Katila M.L. Tuberculosis as an occupational hazard for health care workers in Estonia. *Int. J. Tuberc. Lung Dis.*, 2001, vol. 5, no. 2, pp. 170–176.
31. Skodric V., Savic B., Jovanovic M., Pesic I., Videnovic J., Zugic V., Rakovic J., Stojkovic M. Occupational risk of tuberculosis among health care workers at the Institute for Pulmonary Diseases of Serbia. *Int. J. Tuberc. Lung Dis.*, 2000, vol. 4, no. 9, pp. 827–831.
32. Shrestha P., Shakyia M., Caws M., Shrestha S., Karki B., Shrestha S., Karki D.B., Maharjan B. [et al.]. Tuberculosis in Staff and students of Patan Hospital. *J. Nepal Health Res. Counc.*, 2018, vol. 15, no. 3, pp. 268–274. DOI: 10.3126/jnhrc.v15i3.18853
33. von Delft A., Dramowski A., Khosa C., Kotze K., Lederer P., Mosidi T., Peters J.A., Smith J. [et al.]. Why healthcare workers are sick of TB. *Int. J. Infect. Dis.*, 2015, vol. 32, pp. 147–151. DOI: 10.1016/j.ijid.2014.12.003
34. Flick R.J., Munthali A., Simon K., Hosseinipour M., Kim M.H., Mlauzi L., Kazembe P.N., Ahmed S. Assessing infection control practices to protect health care workers and patients in Malawi from nosocomial transmission of Mycobacterium tuberculosis. *PLoS One*, 2017, vol. 12, no. 12, pp. e0189140. DOI: 10.1371/journal.pone.0189140
35. Sterlikov S.A., Popov S.A., Sabgayda T.P. The actual role of microbiology analysis in program of lungs tuberculosis control in Russia. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*, 2014, vol. 58, no. 2, pp. 30–34 (in Russian).
36. Xie Z., Zhou N., Chi Y., Huang G., Wang J., Gao H., Xie N., Ma Q. [et al.]. Nosocomial tuberculosis transmission from 2006 to 2018 in Beijing Chest Hospital, China. *Antimicrob. Resist. Infect. Control*, 2020, vol. 9, no. 1, pp. 165. DOI: 10.1186/s13756-020-00831-5
37. Mahamat G., Kenmoe S., Akazong E.W., Ebogo-Belobo J.T., Mbagi D.S., Bowo-Ngandji A., Foe-Essomba J.R., Amougou-Atsama M. [et al.]. Global prevalence of hepatitis B virus serological markers among healthcare workers: A systematic review and meta-analysis. *World J. Hepatol.*, 2021, vol. 13, no. 9, pp. 1190–1202. DOI: 10.4254/wjh.v13.i9.1190
38. Kosarev V.V., Babanov S.A. Occupational hepatitis in medical workers. *Meditsinskaya sestra*, 2010, no. 8, pp. 30–33 (in Russian).
39. Tarantola A., Abiteboul D., Rachline A. Infection risks following accidental exposure to blood or body fluids in health care workers: A review of pathogens transmitted in published cases. *Am. J. Infect. Control*, 2006, vol. 34, no. 6, pp. 367–375. DOI: 10.1016/j.ajic.2004.11.011
40. Wicker S., Jung J., Allwinn R., Gottschalk R., Rabenau H.F. Prevalence and prevention of needlestick injuries among health care workers in a German university hospital. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 2008, vol. 81, no. 3, pp. 347–354. DOI: 10.1007/s00420-007-0219-7

41. Nikitina G.Yu., Semenenko T.A., Gotvyanskaya T.P., Hahaeva I.B., Konopleva M.V., Nikolaeva O.G., Yarosh L.V., Kozhevnikova L.K., Suslov A.P. The prevalence of parenteral hepatitis markers among the medical personnel in the Russian Federation regions with different intensity of epidemic process. *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya khimioterapiya*, 2017, vol. 19, no. 2, pp. 161–167 (in Russian).
42. Mengistu D.A., Dirirsa G., Mati E., Ayele D.M., Bayu K., Deriba W., Alemu F.K., Demmu Y.M. [et al.]. Global Occupational Exposure to Blood and Body Fluids among Healthcare Workers: Systematic Review and Meta-Analysis. *Can. J. Infect. Dis. Med. Microbiol.*, 2022, vol. 2022, pp. 5732046. DOI: 10.1155/2022/5732046
43. Marnejon T., Gemmel D., Mulhern K. Patterns of needlestick and sharps injuries among training residents. *JAMA Intern. Med.*, 2016, vol. 176, no. 2, pp. 251–252. DOI: 10.1001/jamainternmed.2015.6828
44. Prüss-Ustün A., Rapiti E., Hutin Y. Estimation of the global burden of disease attributable to contaminated sharps injuries among health-care workers. *Am. J. Ind. Med.*, 2005, vol. 48, no. 6, pp. 482–490. DOI: 10.1002/ajim.20230
45. Deisenhammer S., Radon K., Nowak D., Reichert J. Needlestick injuries during medical training. *J. Hosp. Infect.*, 2006, vol. 63, no. 3, pp. 263–267. DOI: 10.1016/j.jhin.2006.01.019
46. Hofmann F., Kralj N., Beie M. Needle stick injuries in health care – frequency, causes und preventive strategies. *Gesundheitswesen*, 2002, vol. 64, no. 5, pp. 259–266. DOI: 10.1055/s-2002-28353 (in German).
47. Katsvman G.A., Sedney C.L., Braca J.A. III, Hatchett L. Interdisciplinary differences in needlestick injuries among healthcare professionals in training: Improving situational awareness to prevent high-risk injuries. *Work*, 2020, vol. 65, no. 3, pp. 635–645. DOI: 10.3233/WOR-203118
48. Profilaktika zarazheniya meditsinskikh rabotnikov gemotransmissivnymi infektsiyami [Prevention of infection of healthcare workers with hemotransmissible infections]. *Okhrana truda i pozharnaya bezopasnost' v uchrezhdeniyakh zdravookhraneniya*, 2016, no. 8, pp. 45–48 (in Russian).
49. Spiridonov A.M., Berezin I.I., Nikiforova G.A. [et al.]. Otsenka riska professional'noi infektsionnoi zabolevaemosti u meditsinskikh rabotnikov [Assessment of the risk of occupational infectious morbidity in healthcare workers]. *Okhrana truda i tekhnika bezopasnosti v uchrezhdeniyakh zdravookhraneniya*, 2012, no. 2, pp. 10–12 (in Russian).
50. Ho P.L., Becker M.M., Chang-Yong M.M. Emerging occupational lung infections. *Int. J. Tuberc. Lung Dis.*, 2005, vol. 11, no. 7, pp. 710–721.
51. Pon L.L., Guan I., Nicholls J.M., Yuen K.I., Paris J.S. The etiology, origin and diagnosis of severe acute respiratory syndrome. *Lancet Infect. Dis.*, 2004, vol. 4, no. 11, pp. 663–671. DOI: 10.1016/C1473-3099(04)01172-7
52. Lee N., Hui D., Wu A., Chan P., Cameron P., Joynt G.M., Ahuja A., Yung M.Y. [et al.]. A major outbreak of severe acute respiratory syndrome in Hong Kong. *N. Engl. J. Med.*, 2003, vol. 348, no. 20, pp. 1986–1994. DOI: 10.1056/NEJMoa030685
53. Booth K.M., Matukas L.M., Tomlinson G.A., Rakhlis A.R., Rose D.B., Dvosh H.A., Walmsley S.L., Mazzulli T. [et al.]. Clinical features and short-term results of 144 patients with atypical pneumonia in the Greater Toronto area. *JAMA*, 2003, vol. 289, no. 21, pp. 2801–2809. DOI: 10.1001/jama.289.21.JOC30885
54. Buxton Bridges S., Katz J.M., Seto V.H., Chan P.K., Tsang D., Ho V., Mack K.H., Lim V. [et al.]. Risk of influenza A (H5N1) infection among health care workers exposed to influenza A (H5N1) patients, Hong Kong. *J. Infect. Dis.*, 2000, vol. 181, no. 1, pp. 344–348. DOI: 10.1086/315213
55. Garipova R.V., Strizhakov L.A., Umbetova K.T., Safina K.R. Occupational diseases of health care workers from exposure to infectious agents: the current state of the problem. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2021, vol. 61, no. 1, pp. 13–17. DOI: 10.31089/1026-9428-2021-61-1-13-17 (in Russian).
56. Koh D. Occupational risks for COVID-19 infection. *Occup. Med. (Lond.)*, 2020, vol. 70, no. 1, pp. 3–5. DOI: 10.1093/occmed/kqaa036
57. Shaikhislamova E.R., Valeeva E.T., Akhmetshina V.T., Malikova A.I., Sagadieva R.F. Professional'naya patologiya v Respublike Bashkortostan v period koronavirusnoi pandemii [Occupational pathology in the Republic of Bashkortostan during the coronavirus pandemic]. *Analiz riska zdorov'yu – 2021. Vneshnesredovye, sotsial'nye, meditsinskie i povedencheskie aspekty. Sovmestno s mezhdunarodnoi vstrechei po okruzhayushchei srede i zdorov'yu RISE-2021: Materialy XI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*, Perm, May 18–20, 2021, vol. 1, pp. 124–127 (in Russian).
58. Sahu A.K., Amrithanand V.T., Mathew R., Aggarwal P., Nayer J., Bhoi S. COVID-19 in health care workers – A systematic review and meta-analysis. *Am. J. Emerg. Med.*, 2020, vol. 38, no. 9, pp. 1727–1731. DOI: 10.1016/j.ajem.2020.05.113
59. Ing E.B., Xu Q.A., Salimi A., Torun N. Physician deaths from corona virus (COVID-19) disease. *Occup. Med. (Lond.)*, 2020, vol. 70, no. 5, pp. 370–374. DOI: 10.1093/occmed/kqaa088
60. Jayadevan R. A hundred lives lost: doctor deaths in India during the times of COVID-19. *Preprints*, 2020, pp. 2020070346. DOI: 10.20944/preprints202007.0346.v1
61. Levin A.B., Bol K.M., Featherstone P.J. From cholera to COVID-19: How pandemics have shaped the development of anaesthesia and intensive care medicine. *Anesteziologiya i reanimatologiya*, 2020, vol. 48, suppl. 3, pp. 28–38 (in Russian).
62. Murthy V.H. Confronting Health Worker Burnout and Well-Being. *N. Engl. J. Med.*, 2022, vol. 387, no. 7, pp. 577–579. DOI: 10.1056/NEJMp2207252
63. Stepanyan I.V., Denisov E.I. Primenenie intellektual'nykh informatsionnykh sistem dlya prognozirovaniya otsenki riskov dlya zdorov'ya [Application of intelligent information systems to predict health risk assessment]. *Neirokomp'yutery: razrabotka, primeneniye*, 2009, no. 12, pp. 69–74 (in Russian).
64. Denisov E.I., Prokopenko L.V., Golovaneva G.V., Stepanyan I.V. Paradigm shift in health: forecasting and causation as a basis for risk management. *Gigiena i sanitariya*, 2012, vol. 91, no. 5, pp. 62–65 (in Russian).

Shulakova N.I., Tutelyan A.V., Akimkin V.G. Key aspects of occupational risks for healthcare workers. *Health Risk Analysis*, 2024, no. 2, pp. 185–195. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.17.eng

Получена: 11.05.2024

Одобрена: 19.06.2024

Принята к публикации: 24.06.2024

# НОВЫЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ, НОРМАТИВНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В СФЕРЕ АНАЛИЗА РИСКОВ ЗДОРОВЬЮ

Второй квартал 2024 г. (18 марта 2024 г. – 15 июня 2024 г.)

**Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии (ЕЭК) от 19.03.2024 № 25 «О внесении изменений в перечень международных и региональных (межгосударственных) стандартов... необходимые для применения и исполнения требований технического регламента Евразийского экономического союза “О безопасности оборудования для детских игровых площадок” (ТР ЕАЭС 042/2017) и осуществления оценки соответствия объектов технического регулирования»**

В перечень стандартов, необходимых для применения и исполнения требований ТР ЕАЭС 042/2017 «О безопасности оборудования для детских игровых площадок» (включены) новые позиции.

**Решение Коллегии ЕЭК от 16.04.2024 № 39 «О перечне продукции, подлежащей обязательной оценке соответствия требованиям технического регламента Таможенного союза “Технический регламент на масложировую продукцию” (ТР ТС 024/2011), в отношении которой при помещении под таможенные процедуры подтверждается соблюдение мер технического регулирования»**

Обновлен перечень продукции, подлежащей обязательной оценке соответствия требованиям ТР ТС 024/2011. Признается утратившим силу Решение Коллегии ЕЭК от 6 марта 2014 г. № 39, которым утвержден аналогичный перечень.

**Решение Коллегии ЕЭК от 13.05.2024 № 52 «О внесении изменений в справочник карантинных объектов Евразийского экономического союза»**

Новые позиции включены в справочник карантинных объектов ЕАЭС. Некоторые позиции и таблицы изложены в новой редакции.

**Решение Коллегии ЕЭК от 28.05.2024 № 58 «О внесении изменения в Порядок формирования и ведения единого реестра свидетельств о государственной регистрации продукции»**

Дополнен перечень сведений, включаемых в единый реестр свидетельств о государственной регистрации продукции. Предусмотрено, что в отношении дезинфекционных средств в указанный реестр также должны включаться сведения об инструкции по их применению.

**Решение Совета ЕЭК от 12.04.2024 № 28 «О внесении изменений в Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 18 ноября 2019 г. № 127»**

**Решение Совета ЕЭК от 12.04.2024 № 28 «О внесении изменений в Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 18 ноября 2019 г. № 127»**

В новой редакции изложен перечень товаров легкой промышленности, подлежащих маркировке средствами идентификации. Внесены уточнения в характеристики средства идентификации товаров, требования к формату, составу и структуре сведений о товарах, минимальный состав сведений о маркированном товаре, содержащихся в информационной системе.

**Решение Совета ЕЭК от 22.04.2024 № 35 «О внесении изменений в некоторые решения Комиссии Таможенного союза»**

Уточнен порядок выпуска в обращение пищевой продукции в случае изменения наименования места нахождения ее изготовителя, а также доведения до сведения потребителей указанной информации. Установлено, что в течение 36 месяцев с даты изменения реквизитов места нахождения производителя допускается выпуск в обращение пищевой продукции с указанием в маркировке предыдущих наименований его места нахождения при условии неизменности фактического географического места нахождения изготовителя, уполномоченного изготовителем лица, импортера и фактического места производства. Информация об изменении реквизитов должна быть доведена до сведения потребителя одним из способов, предусмотренных частью 4.12 статьи 4 технического регламента Таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки» (ТР ТС 022/2011).

**Решение Совета ЕЭК от 12.04.2024 № 52 «О внесении изменений в некоторые решения Совета Евразийской экономической комиссии»**

На 1 июля 2025 г. перенесен срок вступления в силу технического регламента ЕАЭС «О безопасности алкогольной продукции» (ТР ЕАЭС 047/2018).

**Решение Совета ЕЭК от 14.05.2024 № 51 «О внесении изменений в раздел II Единого перечня продукции (товаров), подлежащей государственному санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) на таможенной границе и таможенной территории Евразийского экономического союза»**

Дополнен перечень продукции для личной гигиены для взрослых, подлежащей государственной

регистрации и государственному санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю).

**Решение Совета ЕЭК от 14.05.2024 № 50 «О внесении изменений в технический регламент Таможенного союза “О безопасности игрушек” (ТР ТС 008/2011)»**

Дополнен понятийный аппарат, уточнены требования к безопасности игрушек и к их маркировке, изложен перечень изделий, которые не рассматриваются в качестве игрушек уточнены некоторые позиции, классифицирующие санитарно-химические показатели, предъявляемые к игрушкам.

**Федеральный закон от 23.03.2024 № 57-ФЗ «О внесении изменений в статью 29 Федерального закона «О государственном регулировании производства и оборота этилового спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции и об ограничении потребления (распития) алкогольной продукции» и статью 2 Федерального закона «О внесении изменений в Федеральный закон «О государственном регулировании производства и оборота этилового спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции и об ограничении потребления (распития) алкогольной продукции» и о проведении эксперимента по маркировке алкогольной продукции...»**

До 31 мая 2026 года продлен срок проведения эксперимента по маркировке федеральными специальными марками ввозимой в РФ алкогольной продукции. Законом уточняются особенности применения на новых территориях отдельных положений Закона о госрегулировании производства и оборота этилового спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции.

**Указ Президента РФ от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года»**

Президентом определены национальные цели развития Российской Федерации на период до 2030 г. и на перспективу до 2036 г. В качестве национальных целей названы: сохранение населения, укрепление здоровья и повышение благополучия людей, поддержка семьи; реализация потенциала каждого человека, развитие его талантов, воспитание патриотичной и социально ответственной личности; комфортная и безопасная среда для жизни; экологическое благополучие; устойчивая и динамичная экономика; технологическое лидерство; цифровая трансформация государственного и муниципального управления, экономики и социальной сферы. Документом также закреплены целевые показатели и задачи по достижению национальных целей.

**Постановление Правительства РФ от 12.03.2024 № 291 «О генно-инженерно-модифици-**

**рованных организмах, не подлежащих государственной регистрации, а также о продукции, полученной с применением таких организмов или содержащей такие организмы»**

До 1 января 2025 г. включительно генно-инженерно-модифицированные организмы, предназначенные для выпуска в окружающую среду и зарегистрированные для производства продовольственного сырья и пищевых продуктов (соевых бобов и соевого шрота), не подлежат государственной регистрации для производства кормов. Зарегистрированная продукция (соевые бобы и соевый шрот), полученная с применением ГМО может использоваться для производства кормов.

**Постановление Правительства РФ от 20.03.2024 № 337 «Об утверждении Положения о лицензировании деятельности по оказанию услуг по дезинфекции, дезинсекции и дератизации в целях обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения»**

С 1 сентября 2024 г. устанавливается порядок лицензирования деятельности по оказанию услуг по дезинфекции, дезинсекции, дератизации, а также камерной дезинфекции и дезинсекции. Лицензирование указанной деятельности и лицензионный контроль осуществляет Роспотребнадзор.

**Постановление Правительства РФ от 15.03.2024 № 306 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2018 г. № 482»**

Определены правила ведения подсистемы досудебного обжалования разрешительной деятельности государственной информационной системы «Типовое облачное решение по автоматизации контрольной (надзорной) деятельности» Подсистема обеспечивает возможность обработки жалоб граждан и организаций в отношении решений и действий (бездействия) органов или их должностных лиц, предоставляющих государственные услуги в сфере разрешительной деятельности. Единый портал госуслуг обеспечивает уведомление лиц, обжалующих решения и (или) действия, о ходе рассмотрения жалобы.

**Постановление Правительства РФ от 27.05.2024 № 676 «Об утверждении Правил маркировки отдельных видов пищевых растительных масел и масложировой продукции средствами идентификации...»**

С 1 октября 2024 г. вводится обязательная маркировка растительных масел, упакованных в стеклянную или полимерную потребительские упаковки. Растительные масла, упакованные в иные виды упаковок, должны будут маркироваться с 1 февраля 2025 г.

**Постановление Правительства РФ от 27.05.2024 № 677 «Об утверждении Правил мар-**



**кировки отдельных видов консервированных продуктов, упакованных в потребительскую упаковку, средствами идентификации...»**

Установлены правила маркировки консервированной продукции. Определены в числе прочего порядок и сроки нанесения маркировки на отдельные виды консервированных продуктов, требования к участникам оборота, порядок информационного обмена.

**Постановление Правительства РФ от 27.05.2024 № 678 «Об утверждении Правил маркировки безалкогольного пива средствами идентификации и особенностях внедрения государственной информационной системы мониторинга за оборотом товаров, подлежащих обязательной маркировке средствами идентификации, в отношении безалкогольного пива»**

С 1 октября 2024 г. безалкогольное пиво подлежит маркировке средствами идентификации. Установлены правила нанесения средств идентификации на безалкогольное пиво.

**Постановление Правительства РФ от 31.05.2024 № 736 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 15 декабря 2020 г. № 2099»**

С 1 сентября 2024 г. вносятся изменения в правила маркировки молочной продукции. Уточняется порядок представления сведений о кодах идентификации, и (или) кодах идентификации групповых упаковок, и (или) кодах идентификации транспортных упаковок меньшего уровня вложенности, входящих в транспортную упаковку, при осуществлении ввода в оборот молочной продукции, дополняются основания для отказа во внесении в информационную систему мониторинга сведений.

**Постановление Правительства РФ от 01.06.2024 № 746 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2022 г. № 2173»**

С 1 сентября 2024 г. в новой редакции излагаются правила маркировки пива, напитков, изготавливаемых на основе пива, и отдельных видов слабоалкогольных напитков. Уточняется порядок регистрации участников оборота пива и слабоалкогольных напитков.

**Постановление Правительства РФ от 01.06.2024 № 749 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам оборота товаров, подлежащих обязательной маркировке средствами идентификации»**

С 1 сентября 2024 г. вносятся изменения в правила маркировки молочной продукции, упакованной воды, отдельных видов безалкогольных напитков, в том числе с соком, и соков. Уточняются понятий-

ный аппарат, перечень сведений, передаваемых в информационную систему мониторинга.

**Постановление Правительства РФ от 01.06.2024 № 750 «О проведении эксперимента в отношении отдельных групп товаров, в том числе товаров в упаковке»**

С 1 сентября 2024 г. по 31 декабря 2025 г. на территории РФ будет проводиться эксперимент в отношении отдельных групп товаров, в том числе товаров в упаковке. Эксперимент проводится в том числе в целях апробации механизма, направленного на обеспечение исполнения импортерами товаров обязанности по утилизации отходов от использования таких товаров и недопущения уклонения от исполнения такой обязанности. Приводится перечень отдельных видов товаров, участвующих в эксперименте.

**Распоряжение Правительства РФ от 27.03.2024 № 710-р «О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 28.04.2018 № 792-р»**

Новые позиции включены в перечень отдельных товаров, подлежащих обязательной маркировке средствами идентификации. Речь идет, в частности, о нижнем белье, детской одежде, купальных костюмах, чулочно-носочных изделиях, перчатках, галстуках, шляпах и прочем. Новые позиции подлежат обязательной маркировке с 1 марта 2025 года.

**Приказ Роспотребнадзора от 30.05.2024 № 415 «Об утверждении формы программы производственного контроля, необходимой для осуществления деятельности по оказанию услуг по дезинфекции, дезинсекции и дератизации в целях обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения»**

Роспотребнадзором установлена форма программы производственного контроля при осуществлении деятельности по оказанию услуг по дезинфекции, дезинсекции и дератизации.

**Постановление Главного государственного санитарного врача по железнодорожному транспорту РФ от 24.04.2024 № 3 «Обеспечение санитарно-эпидемиологической безопасности при перевозке организованных групп детей железнодорожным транспортом в период летней оздоровительной кампании 2024 года»**

Представлен комплекс мер для обеспечения санитарно-эпидемиологической безопасности при перевозке организованных групп детей железнодорожным транспортом в летнюю оздоровительную кампанию 2024 года.

**МР 3.5.1.0337-23. Методические рекомендации по дезинфекции и дезинсекции в паровых, паровоздушных, пароформалиновых и комбинированных дезинфекционных камерах и в воздушных дезинсекционных камерах. Методические рекоменда-**

**ции» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 18.12.2023)**

Утверждены методические рекомендации по дезинфекции и дезинсекции в паровых, паровоздушных, пароформалиновых и комбинированных дезинфекционных камерах и в воздушных дезинсекционных камерах в медицинских организациях для эффективной профилактики инфекций, в том числе связанных с оказанием медицинской помощи, в соответствии с инструкцией производителя.

**МР 2.4.0345-24. 2.4. Гигиена детей и подростков. Методические рекомендации по обеспечению санитарно-эпидемиологических требований в детских лагерях палаточного типа. Методические рекомендации» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 25.04.2024)**

Документ содержит обобщенные сведения и рекомендации по вопросам организации отдыха детей и их оздоровления в детских лагерях палаточного типа в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями. Рекомендации не распространяются на походы, слеты и иные аналогичные мероприятия в природной среде с участием детей, степенные и категорийные походы туристских групп, слеты, соревнования и походы «Маршрут выживания».

**МР 3.1.0346-24. 3.1. Эпидемиология. Профилактика инфекционных болезней. Организация и проведение микробиологического мониторинга в медицинских организациях. Методические рекомендации» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 26.04.2024)**

Настоящие методические рекомендации описывают алгоритм и методику проведения микробиологического мониторинга в медицинских организациях, в первую очередь, оказывающих медицинскую помощь в стационарных условиях, с учетом риска возникновения и развития инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, и содержат методические подходы к обеспечению эпидемиологической безопасности в медицинских организациях.

**Письмо ЕЭК от 14.02.2024 № 16-290 «Об отнесении низколактозной и безлактозной молочной продукции к объектам технического регулирования технических регламентов Таможенного союза "О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания" и "О безопасности молока и молочной продукции"»**

Сообщается, что в случае если безлактозная или низколактозная молочная продукция не заявлена изготовителем как специализированная пищевая продукция, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания, то на указанную продукцию распространяются требования ТР ТС 033/2013. Соответственно, при декларировании соответствия безлактозной или низколактозной молочной продукции заявитель оформляет декларацию о соответствии такой продукции требованиям ТР ТС 033/2013.

**Письмо Роспотребнадзора от 11.03.2024 № 02/4005-2024-32 «О применении методического документа»**

С 1 декабря 2023 г. действует МР 2.6.1.0333-23 «Радиологический контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений по показателям радиационной безопасности». Документ принят взамен МУ 2.6.1.2838-11 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности».

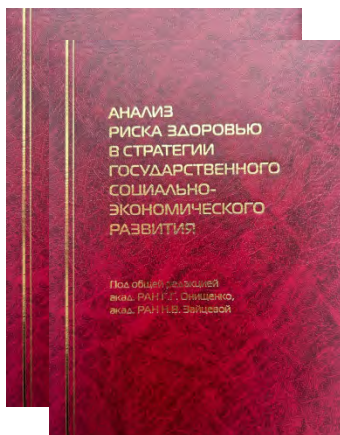
**Письмо Роспотребнадзора от 20.03.2024 № 09-3510-2024-40 «О рассмотрении обращения»**

Даны разъяснения по вопросу отстранения от учебного процесса лиц, не привитых против кори. Сообщается, что дети, привитые против кори однократно (не прошедшие полный курс иммунизации), при выявлении очага коревой инфекции в образовательной организации не отстраняются из коллектива. Однако лица, имевшие контакт с больным корью (или при подозрении на заболевание), не болевшие корью ранее, не привитые, не имеющие сведений о прививках против кори, а также лица старше 6 лет, привитые однократно, подлежат иммунизации против кори по эпидемическим показаниям. При отказе от иммунизации данная категория лиц отстраняется из организованного коллектива. Если ребенок впервые привит после выявления очага инфекции, то он может быть допущен в коллектив через 21 день после проведенной иммунизации. Если однократно привитый ребенок (вакцинированный) привит после выявления очага инфекции, то он допускается в коллектив сразу после проведенной ревакцинации. Если совершеннолетний гражданин, однократно привитый от кори в детском возрасте, планирует посещать коллектив, где выявлен очаг кори, то он допускается в коллектив сразу после проведенной ревакцинации.

## АНАЛИЗ РИСКА ЗДОРОВЬЮ В СТРАТЕГИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

под общей редакцией акад. РАН Г.Г. Онищенко, акад. РАН Н.В. Зайцевой

Второе издание, переработанное и дополненное. М.; Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2024. В 2-х томах



Крайне востребованное первое издание монографии, вышедшее в 2014 г., освещало широкий спектр научных и прикладных аспектов анализа рисков здоровью как инструмента государственного управления. Однако за 10 лет методология анализа риска здоровью в Российской Федерации получила существенное развитие, позволяющее отстаивать позиции страны на международном уровне, а по ряду положений опережающее мировую практику.

В новой, расширенной редакции монографии обобщен опыт оценки риска в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения на разных уровнях власти и обсуждены новые научные направления развития методологии. Представлены перспективы развития теории вопроса и более широкой интеграции методологии анализа риска в деятельность Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Описаны особенности управления рисками здоровью населения на современном этапе, в том числе на основе пространственно-временного моделирования распределения рисков и экономической оценки медико-демографических потерь. Описана практика оценки и управления рисками с использованием методов эволюционного моделирования. Значительное внимание уделено совершенствованию риск-ориентированной модели контрольно-надзорной деятельности, медико-профилактическим технологиям минимизации тяжести и масштабов последствий при воздействии факторов риска. Сформулированы общие принципы, методы и модель риск-коммуникаций.

Издание дополнено рядом положений, касающихся цифровизации процедур анализа риска, в том числе создания автоматизированных информационных систем, формирования баз знаний и комплексов современных методов численной обработки данных.

Обобщены подходы к оптимизации социально-гигиенического мониторинга на основе оценки риска здоровью, детально описаны методические подходы и практика доказательства вреда здоровью, причиненного воздействием факторов риска.

В монографии представлены обширные фактические данные по всему спектру обсуждаемых вопросов – от математических моделей «верхнего уровня», описывающих связи параметров качества среды обитания с показателями смертности и заболеваемости населения до клеточных и субклеточных маркеров, отражающих в том числе ранние, донозологические изменения в состоянии здоровья лиц под воздействием факторов риска.

Во все области, затронутые в монографии, исследовательский коллектив внёс существенный вклад. В работе представлены результаты глубокой проработки зарубежных и отечественных источников информации и авторские научно-исследовательские изыскания в области гигиены, экологии человека, математического моделирования, социологии, химии окружающей среды. Во многом разработанные методические приемы и инструменты являются инновационными, прежде всего вследствие междисциплинарного подхода и широкого применения наукоемких методов математического анализа.

Монография представляет научный и практический интерес для ученых-гигиенистов, практиков санитарной службы, представителей органов власти, медиков и т.д. Несомненно, труд может заинтересовать широкий круг читателей, интересующихся вопросами экологии человека в современном мире, гигиены, перспективными технологиями управления здоровьем населения.

Хочется поблагодарить авторов за труд, пользу от которого сложно переоценить.

## **«АНАЛИЗ РИСКА ЗДОРОВЬЮ»**

**Приглашаем Вас оформить подписку на 2024 год на журнал «Анализ риска здоровью», выбрав любой удобный для Вас способ подписки:**

1. На сайте **ООО «Агентство «Книга-Сервис»**: [https://www.akc.ru/itm/analiz-riska-zdorovy\\_u/](https://www.akc.ru/itm/analiz-riska-zdorovy_u/) (подписной индекс журнала – Е83927). Цена подписки по прейскуранту.
2. На сайте Объединенного каталога **«Пресса России»**: <https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/f04153/> (подписной индекс журнала – 83927). Цена подписки по прейскуранту.
3. Непосредственно **в редакции журнала** (заявку можно отправить на эл. почту [journal@fcrisk.ru](mailto:journal@fcrisk.ru)). Цена подписки на год: 7200 руб. (бандеролью с уведомлением).

