

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 31.03.2026.
Формат 90×60/8.
Усл. печ. л. 25,0.
Заказ № 064/2026.
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)

А.В. Богомолов – д.т.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. Мальшева – 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. Ракицкий – 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)

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. Фельдблом – 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)

1

Январь 2026 март

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА: АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ

*Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, Д.А. Кирьянов,
М.В. Глухих, М.Ю. Цинкер, П.Д. Свинцова*

ОЦЕНКА РИСКА МОДИФИКАЦИИ ТЕЧЕНИЯ
РЕСПИРАТОРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННОГО
ВОЗДЕЙСТВИЕМ ФАКТОРОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ
И ОБРАЗА ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ С УЧЕТОМ
РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРРИТОРИИ

ОЦЕНКА РИСКА В ГИГИЕНЕ

*И.В. Май, С.Ю. Загороднов, С.Ю. Балашов,
К.В. Четверкина, А.А. Клячин, Ю.Е. Чижова*

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТИ
И ДОСТАТОЧНОСТИ ВЗАИМОЗАЧЕТА
И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ КВОТ ВЫБРОСОВ
ХОЗЯЙСТВУЮЩИХ СУБЪЕКТОВ ПРИ ДОСТИЖЕНИИ
ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФЕДЕРАЛЬНОГО ПРОЕКТА
«ЧИСТЫЙ ВОЗДУХ»

Аль Мамун

НИТРАТНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД
НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ САУДОВСКОЙ АРАВИИ
И ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ РАЗНЫХ ВОЗРАСТНЫХ
ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ

*Х. Хоїрон, И. Маруфи, А.А. Акбар, Т.А. Оде, Р.Б. Антика,
Р.П. Ридзкянто, Х. Али*

ОЦЕНКА ВНЕШНЕСРЕДОВОГО РИСКА ЗДОРОВЬЮ
В ЗОНЕ ГЕОТУРИЗМА «ГЛОБАЛЬНЫЙ ГЕОПАРК
ЮНЕСКО ИДЖЕН», ИНДОНЕЗИЯ

А.А. Паюта, Е.А. Флёрва, Ю.В. Зайцева
ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА
ПРИ ПОТРЕБЛЕНИИ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ
ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

*Тран Као Сон, Неуен Тхи Хонг Нгок, Кью Ван Анх,
Тран Ху Хью, Фам Тхи Тханх Ха*

АКРИЛАМИД В ОБРАБОТАННЫХ ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ
И ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ, ОБУСЛОВЛЕННОГО
ЕГО НАЛИЧИЕМ: ОПЫТ РЕСПУБЛИКИ ВЬЕТНАМ

О.А. Зубкова, А.Ю. Фролов, В.И. Попов
РЕПРОДУКТИВНАЯ ГРАМОТНОСТЬ, СОЦИАЛЬНЫЕ
ОСОБЕННОСТИ И СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ КАК
ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕПРОДУКТИВНОГО
ПОТЕНЦИАЛА СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ

*О.М. Филькина, А.И. Малышкина, О.Ю. Кочерова,
А.В. Бобошко, Е.А. Воробьева, Н.В. Долотова*
ФАКТОРЫ РИСКА ИНТЕРНЕТ-ЗАВИСИМОСТИ
И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ У ПОДРОСТКОВ
15–17 ЛЕТ

*Е.Д. Константинова, В.Г. Газимова, С.Ю. Огородникова,
Т.А. Маслакова, Д.В. Чаурина, А.С. Шастин*
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РИСКА РАЗВИТИЯ
КАРДИОМЕТАБОЛИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ
У МЕТАЛЛУРГОВ

PREVENTIVE HEALTHCARE: TOPICAL ISSUES OF HEALTH RISK ANALYSIS

4 *N.V. Zaitseva, S.V. Kleyn, D.A. Kiryanov,
M.V. Glukhikh, M.Yu. Tsinker, P.D. Svintsova*
ASSESSING RISKS OF MODIFIED CLINICAL COURSE
OF RESPIRATORY DISEASES CAUSED BY
ENVIRONMENTAL EXPOSURES AND LIFESTYLE
FACTORS CONSIDERING REGIONAL SPECIFICITY

RISK ASSESSMENT IN HYGIENE

18 *I.V. May, S.Yu. Zagorodnov, S.Yu. Balashov,
K.V. Chetverkina, A.A. Klyachin, Yu.E. Chizhova*
METHODICAL APPROACHES TO ESTIMATING
POSSIBILITY AND SUFFICIENCY OF OFFSETTING
AND REDISTRIBUTING EMISSION QUOTAS BETWEEN
ECONOMIC ENTITIES WHEN ACHIEVING TARGETS
OF THE CLEAN AIR FEDERAL PROJECT

30 *A. Mamun*
NITRATE POLLUTION IN NORTHEASTERN SAUDI
ARABIAN GROUNDWATER: A MULTI-AGE GROUP
HEALTH RISK ASSESSMENT

43 *Kh. Khoiron, I. Ma'rufi, A.A. Akbar, T.A. Ode, R.B. Antika,
R.P. Ridzkyanto, Kh. Ali*
ENVIRONMENTAL HEALTH RISK ANALYSIS
ON GEOTOURISM DESTINATION AT IJEN UNESCO
GLOBAL GEOPARK – INDONESIA

54 *A.A. Payuta, E.A. Flerova, Y.V. Zaitseva*
ASSESSMENT OF HUMAN HEALTH RISKS CAUSED
BY CONSUMPTION OF COMMERCIAL FISH CAUGHT
IN THE GORKY RESERVOIR

65 *Tran Cao Son, Nguyen Thi Hong Ngoc, Kieu Van Anh,
Tran Huy Hieu, Pham Thi Thanh Ha*
THE OCCURRENCE AND DIETARY RISK ASSESSMENT
OF ACRYLAMIDE IN VIETNAMESE PROCESSED
FOODS

78 *O.A. Zubkova, A.Y. Frolov, V.I. Popov*
REPRODUCTIVE LITERACY, SOCIAL
CHARACTERISTICS, AND HEALTH STATUS AS RISK
FACTORS FOR THE FUTURE REPRODUCTIVE
POTENTIAL OF STUDENT YOUTH

86 *O.M. Filkina, A.I. Malyshkina, O.Yu. Kocherova,
A.V. Boboshko, E.A. Vorobyeva, N.V. Dolotova*
RISK FACTORS FOR INTERNET ADDICTION AND
HEALTH CONSEQUENCES IN 15-17-YEAR-OLD
ADOLESCENTS

95 *E.D. Konstantinova, V.G. Gazimova, S.Yu. Ogorodnikova,
T.A. Maslakova, D.V. Chaurina, A.S. Shastin*
EXPERIENCE IN USING PREDICTIVE
MATHEMATICAL MODELS FOR ASSESSING RISKS
OF CARDIOMETABOLIC DISORDERS
IN METALLURGISTS

С.В. Осовец
ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ РИСК И ДОЗОВЫЕ ПОРОГИ
С УЧЕТОМ ИХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДЛЯ ОСТРОЙ
ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ

ОЦЕНКА РИСКА В ЭПИДЕМИОЛОГИИ

*Хуэ Ву Тхи, Анх Дао Нго, Нхат-Ле Буй, Йен Ви Нгуен Тхи, Тхук
Куен Нгуен, Хоанг Лам Нгуен, Тху Дуонг Ву, Динх-Той Чу*
ВЛИЯНИЕ ПОСТКОВИДНЫХ СИМПТОМОВ
НА ЗДОРОВЬЕ И КАЧЕСТВО ЖИЗНИ: ПЕРЕКРЕСТНОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ ВО ВЬЕТНАМЕ

**МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ
ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ РИСКА**

*С.И. Ксенева, О.Ю. Трифонова, Е.А. Пыхтунова,
А.А. Золотарев, В.В. Удут*
ФЕНОМЕН «МЕТАБОЛИЧЕСКИ ЗДОРОВОГО ОЖИРЕНИЯ»
КАК СОСТОЯНИЕ ЛАТЕНТНОГО РИСКА ЗДОРОВЬЮ

*Д.К. Гуляев, Д.Ю. Апушкин, А.И. Андреев, Ю.В. Меланина,
К.Е. Якушина, В.Д. Белоногова, Н.И. Гуляева, Н.П. Логина,
П.С. Мащенко, Д.О. Семкин*
К ИЗУЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛИТЕЛЬНОГО
ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНОГО
СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ ЭКСТРАКТА МЕГАСТРОБИЛОВ
PICEA ABIES

**ОЦЕНКА РИСКА В ОРГАНИЗАЦИИ
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ**

Р.У. Хабриев, А.А. Калининская
АНАЛИЗ МЕДИКО-ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ
И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ
РАБОТЫ С НАСЕЛЕНИЕМ ТРУДОСПОСОБНОГО
ВОЗРАСТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*А.Б. Джаналиев, Н.К. Касиев, О.А. Болбачан,
Д.Д. Ибраимова, М.А. Мамбетов*
СМЕРТНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ КЫРГЫЗСКОЙ
РЕСПУБЛИКИ: СТРУКТУРА, ТЕНДЕНЦИИ,
ДЕТЕРМИНАНТЫ ПРЕДОТВРАТИМОСТИ

О.А. Болбачан, Г.К. Оморова, Н.М. Асанова, М.А. Мамбетов
ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ
ПРИ ГЛАУКОМЕ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РИСКА РАЗВИТИЯ
ЗАБОЛЕВАНИЯ

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ

Д.С. Валуев
СПЕЦИФИЧЕСКИЙ КОНЦЕНТРАЦИОННЫЙ ПРЕДЕЛ –
ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СМЕСЕЙ ПО
ОПАСНЫМ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА СВОЙСТВАМ.
ЧАСТЬ 2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ: СИСТЕМАТИЧЕ-
СКИЙ ОБЗОР

М.А. Векильян, А.В. Фомина, Л.И. Герасимова, В.И. Пак
МЕДИКО-СОЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ РИСКА РАЗВИТИЯ
РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ
(СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

**НОВЫЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ,
НОРМАТИВНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ
ДОКУМЕНТЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
В СФЕРЕ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ**

106 *S.V. Osovets*
RELATIVE RISK AND DOSE THRESHOLDS WITH
THEIR UNCERTAINTIES FOR DIFFERENT SEVERITY
DEGREES OF ACUTE RADIATION SYNDROME
HEALTH RISK ANALYSIS IN EPIDEMIOLOGY

115 *Hue Vu Thi, Anh Dao Ngo, Nhat-Le Bui, Yen Vy Nguyen Thi,
Thuc Quyen Nguyen, Hoang Lam Nguyen, Thuy Duong Vu,
Dinh-Toi Chu*
IMPACT OF POST-COVID-19 SYMPTOMS ON HEALTH
AND QUALITY OF LIFE: A STUDY FROM VIETNAM

**MEDICAL AND BIOLOGICAL ASPECTS RELATED
TO ASSESSMENT OF IMPACTS EXERTED
BY RISK FACTORS**

125 *S.I. Kseneva, O.Y. Trifonova, E.A. Pykhtunova,
A.A. Zolotarev, V.V. Udut*
METABOLICALLY HEALTHY OBESITY AS A LATENT
HEALTH RISK

134 *D.K. Gulyaev, D.Yu. Apushkin, A.I. Andreev, Yu.V. Melanina,
K.E. Yakushina, V.D. Belonogova, N.I. Gulyaeva,
N.P. Loginova, P.S. Mashchenko, D.O. Semakin*
INVESTIGATING SAFETY OF LONG-TERM USE
OF ANTI-INFLAMMATORY AGENT BASED ON PICEA
ABIES MEGA-STROBILE EXTRACT

**RISK ASSESSMENT IN PUBLIC
HEALTHCARE**

147 *R.U. Khabriev, A.A. Kalininskaya*
ANALYSIS OF THE MEDICAL-DEMOGRAPHIC
SITUATION AND IMPROVEMENT OF PREVENTIVE
WORK WITH WORKING AGE POPULATION IN THE
RUSSIAN FEDERATION

157 *A.B. Dzhanaliev, N.K. Kasiev, O.A. Bolbachan,
D.D. Ibraimova, M.A. Mambetov*
POPULATION MORTALITY IN THE KYRGYZ
REPUBLIC: STRUCTURE, TRENDS AND
PREVENTABILITY DETERMINANTS

167 *O.A. Bolbachan, G.K. Omorova, N.M. Asanova, M.A. Mambetov*
WAYS TO OPTIMIZE HEALTHCARE FOR GLAUCOMA
PATIENTS TO MITIGATE RISKS OF THE DISEASE
DEVELOPMENT

ANALYTICAL REVIEWS


176 *D.S. Valuyev*
SPECIFIC CONCENTRATION LIMIT AS A TOOL
FOR CLASSIFYING MIXTURES BY HUMAN HEALTH
HAZARDS. PART 2. METHODS OF DETERMINATION:
A SYSTEMATIC REVIEW

190 *M.A. Vekilyan, A.V. Fomina, L.I. Gerasimova, V.I. Pak*
MEDICAL AND SOCIAL RISK FACTORS
FOR PROSTATE CANCER
(SYSTEMATIC REVIEW)

198 **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 613; 614
DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.01

Читать
онлайн 

Научная статья

ОЦЕНКА РИСКА МОДИФИКАЦИИ ТЕЧЕНИЯ РЕСПИРАТОРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЕМ ФАКТОРОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ И ОБРАЗА ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ С УЧЕТОМ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРРИТОРИИ

Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, Д.А. Кирьянов, М.В. Глухих, М.Ю. Цинкер, П.Д. Свинцова

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

Осуществлена оценка риска модификации течения респираторных заболеваний вирусной природы (грипп, ОРВИ, COVID-19), обусловленного воздействием факторов среды обитания и образа жизни населения с учетом региональных особенностей территории Российской Федерации.

В работе использованы данные федерального статистического наблюдения за 2010–2019 гг. по 82 субъектам РФ. Анализировалась инцидентность ОРВИ и гриппа. Комплекс социально-гигиенических детерминант (СГД) был представлен 112 показателями, сгруппированными в семь доменов. Для оценки вклада неуправляемых погодноклиматических факторов (мощность УФ-излучения, влажность, температура, скорость ветра, отклонение от среднесезонной температуры) использована множественная линейная регрессия. Для оценки влияния остальных факторов среды обитания и образа жизни применена искусственная нейронная сеть (многослойный перцептрон). Риск рассчитывался как произведение вероятности заболевания (Δp), обусловленной СГД, тяжести течения (g) и коэффициента модификации длительности болезни (w).

Установлено, что $\approx 60\%$ фактически регистрируемой годовой инцидентности ОРВИ и гриппа объясняется совместным воздействием исследуемых факторов. Погодно-климатические факторы оказали более стабильное и значительное влияние на заболеваемость по сравнению с другими факторами среды обитания. На основе расчетных значений риска за 2012–2019 гг. предложена четырехуровневая шкала для его классификации (минимальный, допустимый, настораживающий, высокий) с описанием соответствующих управленческих мероприятий.

Сценарные расчеты показали, что наиболее значимыми в снижении инцидентности ОРВИ и гриппа в порядке его снижения оказывались показатели системы здравоохранения, образа жизни, социально-демографические показатели, показатели фоновой заболеваемости, экономические показатели и санитарно-эпидемиологические показатели (0,52, 0,49, 0,45, 0,32, 0,28 и 0,21 случая на 100 тыс. населения соответственно). Установлено, что среди управляемых факторов среды наибольший вклад в снижение заболеваемости вносит увеличение числа привитых лиц (в среднем 0,8 случая на 100 тыс. населения).

© Зайцева Н.В., Клейн С.В., Кирьянов Д.А., Глухих М.В., Цинкер М.Ю., Свинцова П.Д., 2026

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

Клейн Светлана Владиславовна – профессор РАН, доктор медицинских наук, доцент, заместитель директора по научной работе (e-mail: kleyun@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 219-82-71; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>).

Кирьянов Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, заведующий отделом математического моделирования систем и процессов (e-mail: kda@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5406-4961>).

Глухих Максим Владиславович – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник – заведующий лабораторией методов комплексного санитарно-гигиенического анализа и экспертиз, отдел системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга (e-mail: gluhih@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4755-8306>).

Цинкер Михаил Юрьевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лабораторией ситуационного моделирования и экспертно-аналитических методов управления (e-mail: sinker@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2639-5368>).

Свинцова Полина Денисовна – математик лаборатории ситуационного моделирования и экспертно-аналитических методов управления (e-mail: appolinaryasd@gmail.com; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3010-1224>).

Разработанный методический подход, основанный на каскаде математических моделей, позволяет количественно оценить вклад управляемых и неуправляемых факторов в модификацию течения эпидемиологического процесса респираторных вирусных инфекций (ОРВИ и грипп). Полученные результаты и шкала риска могут быть использованы для обоснования адресных профилактических и противоэпидемиологических мероприятий с учетом региональной специфики.

Ключевые слова: грипп, ОРВИ, COVID-19, факторы среды обитания, оценка риска, региональные особенности.

Вирусные респираторные заболевания, включая грипп, острые респираторные вирусные инфекции (ОРВИ) и COVID-19, представляют собой серьезную проблему общественного здравоохранения во всем мире в целом и в Российской Федерации в частности. Данные заболевания формируют высокие уровни заболеваемости, экономического бремени и осложнений, влияющих на общее состояние здоровья населения.

Грипп (J09–J11¹) определяется как острая респираторная вирусная инфекция, вызываемая вирусами гриппа (чаще *Influenza A, B*). По актуальным оценкам, во всем мире ежегодные сезонные эпидемии гриппа приводят к примерно 1 млрд клинических случаев в год, 3–5 млн случаев тяжелых заболеваний и к 290–650 случаям смерти² [1]. Отсутствуют точные и верифицированные оценки урона здоровью населения в странах с низким (средним) уровнем дохода (LMICS³); по некоторым сведениям до 99,0 % смертей детей в возрасте до 5 лет связаны с грипп-ассоциированными инфекциями нижних дыхательных путей в данных странах [2].

В настоящее время грипп является единственным представителем ОРВИ (не считая COVID-19), для которого предусмотрена программа⁴ специфической профилактики в Российской Федерации. В связи с этим, помимо оценки популяционного иммунитета населения, важным направлением в системе эпидемиологического надзора являются профилактические мероприятия, направленные на оценку и улучшение качества среды обитания, на фоне возвращения допандемийного режима циркуляции штаммов гриппа, вирусов ОРВИ [3].

Внезапное и стремительное развитие пандемии COVID-19 сопровождалось значительным ухудшением эпидемиологической ситуации в Российской Федерации в начале 2020-х гг. в виде повышенных уровней заболеваемости и смертности, в том числе госпитальной [4].

В области исследования атрибутивных факторов риска болезней органов дыхания, в том числе вирусной природы, отмечается значительное неравенство в рамках социально-экономического (бед-

ность, доступ к базовым санитарно-гигиеническим условиям, первичной медико-санитарной помощи) и санитарно-гигиенического (загрязнение воздуха) измерений статуса населения, особенно в пространственном отношении [5–7].

Согласно теории фундаментальных причин (ТФП), связи между социально-экономическим статусом (СЭС) и смертностью населения сохраняются, несмотря на существенные изменения в профилактике и лечении заболеваний, модифицировании факторов риска [8]. В связи с этим при решении вопросов прогнозирования, оценки и мониторинга состояния здоровья населения важно учитывать социально-гигиенический фон, модулирующий его. Учитывая теорию ТФП, концепция «равнозначной восприимчивости перед инфекционным агентом» (Equal Opportunity Infections) [9] выглядит несостоятельной на современном этапе развития эпидемиологии. Наиболее полной объясняющей способностью обладает принцип учета социально-гигиенических детерминант (СГД), включая погодноклиматические и показатели здоровья, в возникновении и развитии эпидемиологического процесса [10], так как различия в социально-экономических, географических, генетических факторах могут в значительной степени обуславливать исходы и последствия для здоровья населения, стратифицированного по различным признакам. Необходимость нивелирования социально-экономического неравенства как дифференцирующего фактора объемов обременения заболеваниями среди разных групп населения выдвигают специалисты здравоохранения, социальные работники, политики [11]. Важность учета социально-гигиенических детерминант подтверждается и в отношении инфекционных заболеваний. На примере COVID-19 установлено, что более высокий индекс социальной уязвимости (Social Vulnerability Index, SVI) ассоциирован с повышенным риском инфицирования SARS-CoV-2 (скорректированный коэффициент заболеваемости [aIRR]: 1,18; 95 % ДИ: 1,02–1,36) [12]. В работе А.К. Weaver et al. (2022) подчеркивается важность и перспективность рассмотрения факторов среды обитания (загрязнение воздуха, химическая экспозиция, климат, городская

¹ Кодировка МКБ-10 – Международная классификация болезней 10-го пересмотра.

² Influenza (seasonal) [Электронный ресурс] // World Health Organization. – 2023. – URL: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/influenza-\(seasonal\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/influenza-(seasonal)) (дата обращения: 01.09.2025).

³ Страны с низким (средним) уровнем дохода (Low & Middle Countries, LMICS), метод Атлас Всемирного банка.

⁴ Национальный календарь профилактических прививок: Приложение № 1 к приказу Министерства здравоохранения Российской Федерации от 6 декабря 2021 г. № 1122н [Электронный ресурс] // КонтурНорматив. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=475217> (дата обращения: 14.10.2025).

среда) как переменных, обуславливающих наблюдаемые уровни заболеваемости респираторными заболеваниями и их тяжесть [13].

Загрязнение атмосферного воздуха, отсутствие (ограничение) доступа к качественной и безопасной питьевой воде, неэффективное управление сточными водами, неудовлетворительные жилищные условия, высокая плотность населения и низкий уровень СЭС связаны с более высокими показателями смертности и госпитализации по причине COVID-19 во всем мире [14].

По данным L. Hoffmann et al. (2025), внешне-средовые стрессоры в виде загрязнителей атмосферного воздуха (NO_2 , $\text{PM}_{2.5}$, O_3) и метеорологических показателей (температура, осадки) в сочетании с демографическими факторами (пол, возрастная группа) способны модулировать уровни заболеваемости респираторных заболеваний (на примере COVID-19) [15]. Данные результаты подтверждаются в исследовании R.J. Scalsky et al. (2022) на примере данных UK Biobank с использованием индекса множественной депривации (Index of Multiple Deprivation – IMD) [16].

По результатам L. Mohammadi et al. (2022), установлен вклад факторов среды обитания (температура, влажность, географическое положение, система здравоохранения, гигиена и коморбидность с хроническими инфекционными заболеваниями (ХНИЗ)) в выживание, устойчивость и передачу вирусных частиц (SARS-CoV-2) [17]. Исследование Y.-W. Choi et al. (2021) дополняют работы по направлению влияния внешнесредовых факторов на течение эпидемического процесса и показывают значимость таких переменных, как ультрафиолетовое излучение и влажность воздуха, вместе с тем вносят неопределенность в отношении температуры и абсолютной влажности [18]. Факторы среды обитания выступают в качестве триггеров [19] усиления интенсивности эпидемического процесса, модуляторов [20] эпидемиологических волн и требуют реализации тщательного биомониторинга для оценки комплексного экспозома в широком спектре режимов окружающей среды [21]. В работе E.C. Lee et al. (2018) еще до развития пандемии предлагалось развертывать конвергентную систему традиционных источников (данные медицинских учреждений) и цифровых медицинских данных для оптимизации системы эпидемиологического надзора за гриппом на местном и национальном масштабе с учетом социально-гигиенических детерминант [22].

Для традиционных систем эпидемиологического надзора, в частности за гриппом, все чаще рассматривают варианты их дополнения неформальными мелкомасштабными источниками, харак-

теризующими эпидемический процесс на индивидуальном уровне, что предоставляет больший объем и динамичность получения данных, несмотря на имеющиеся риски возникновения систематических ошибок (проблема модифицируемых единиц площади – Modifiable Areal Unit Problem (MAUP), пространственная автокорреляция, экологическая ошибка) [23].

Схожие элементы (звенья, признаки, свойства) эпидемических процессов гриппа, ОРВИ и COVID-19 (источник, механизм и пути передачи, тропность к тканям респираторного тракта и др.), а также базовых симптоматических проявлений (основных клинических признаков) зачастую в сочетании с малыми объемами лабораторных исследований (полимеразная цепная реакция, экспресс-тесты на наличие антигенов вируса) не позволяют точно оценивать объемы обременения населения тем или иным вирусным респираторным заболеванием [24]. Несмотря на отсутствие универсального вакцинного препарата и скромные возможности повсеместной рутинной лабораторной диагностики (дифференциации) ОРВИ, схожесть рассматриваемых эпидемических процессов позволяет устанавливать общие, неспецифические мероприятия (нефармацевтические вмешательства, в том числе через улучшение санитарно-эпидемиологической обстановки (ситуации)), в первую очередь направленные на повышение общей резистентности организма путем «антигенной разгрузки» и на профилактику и (или) абортирования процессов передачи [25] вирусных агентов.

Новаторские решения на стыке нескольких наук (эпидемиологии, математики, статистики, информатики, геоинформационных систем и др.) в направлении исследования механизмов, путей и факторов передачи инфекционного начала, подстегнутые развитием информационных технологий [26], расширяют представления об учете множественного пространственного, в том числе на микроуровне, взаимодействия переменных в той или иной степени детерминирующих эпидемические процессы по различным метрикам (заболеваемость, смертность, летальность, индекс репродукции и др.).

Таким образом, результаты исследований в области установления механизмов распространения и факторов передачи респираторных вирусных заболеваний с выделением роли социально-гигиенических детерминант должны использоваться как для оперативно-тактических (эпидемиологический надзор в части оценки и мониторинга нанесенного (потенциального) ущерба, ассоциированного с данными заболеваниями), так и для стратегических целей⁵. Особую важность решение данных вопросов принимает при учете территориального контекста

⁵ Комплексные стратегии общественного здравоохранения могут включать в себя: расширение национального календаря профилактических прививок, реализацию федерального проекта «Санитарный щит», научно-методическую поддержку референс-центров по мониторингу инфекционных агентов и др.

(пространственной компоненты) как относительно устойчивой системы сложившегося сочетания факторов среды обитания и образа жизни.

Цель исследования – оценка риска модификации течения респираторных заболеваний, обусловленного воздействием факторов среды обитания и образа жизни населения с учетом региональных особенностей территории.

Задачи:

– выполнить оценку влияния неуправляемого погодного-климатического фактора на модификацию течения респираторных заболеваний;

– выполнить оценку влияния факторов среды обитания и образа жизни на модификацию течения респираторных заболеваний;

– выполнить классификацию (шкалирование) полученных уровней риска.

Материалы и методы. В качестве источников данных об инцидентности (первичная заболеваемость) гриппа, ОРВИ и COVID-19, содержащих информацию о числе зарегистрированных случаев заболеваний (по окончательному диагнозу), возрастном составе заболевших, а также о территориальном распределении по субъектам Российской Федерации, служили: форма федерального статистического наблюдения № 1 и № 2 «Сведения об инфекционных и паразитарных заболеваниях» (месячные и годовые данные).

Источниками данных по показателям, характеризующим комплекс СГД, являются формы федерального статистического наблюдения, статистические сборники, статистические бюллетени, показатели и данные Федерального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга, иные открытые официальные источники. Общее количество показателей, включенных в анализ и характеризующих комплекс СГД, составило 112 единиц. Показатели условно агрегированы по семи доменам / группам: показатели санитарно-эпидемиологического благополучия населения (24 единицы), образа жизни населения (19 единиц), социально-демографической (25 единиц), экономической сфер (7 единиц), показатели системы здравоохранения (9 единиц), заболеваемости населения (21 единица), погодного-климатические показатели (5 единиц). Итоговый набор данных охватывал период 2010–2019 гг. по 82 субъектам, общее количество первичных данных для анализа составило 145 796 единиц наблюдения.

Риск модификации течения респираторных инфекций вирусной природы представляет собой количественную величину от произведения вероятности (Δp), тяжести заболевания (g) и коэффициента модификации (w), обусловленных региональными особенностями проживания населения на территории (формула (1)):

$$R = \Delta p_{\text{СГД+климат}} \cdot g \cdot w, \quad (1)$$

где $\Delta p_{\text{СГД+климат}}$ – вероятность респираторных заболеваний вирусной природы, обусловленная ком-

плексом СГД, включая погодного-климатические условия;

g – тяжесть течения респираторных заболеваний вирусной природы;

w – коэффициент модификации течения респираторных заболеваний вирусной природы, обусловленный комплексом СГД.

Вероятность наступления нежелательного события (Δp) рассчитывается на основе частотного показателя (инцидентности). Вероятность респираторных заболеваний вирусной природы, обусловленная конкретным воздействием комплекса СГД, включая погодного-климатические условия, определяется как разность ее фактических (наблюдаемых) и фоновых (базовых) уровней в конкретном году по формуле (2):

$$\Delta p_{\text{СГД+климат}} = p^{\text{факт}} - p^{\text{фон}}, \quad (2)$$

где $\Delta p_{\text{СГД+климат}}$ – вероятность возникновения респираторных заболеваний вирусной природы, обусловленная комплексом СГД, включая погодного-климатические условия;

$p^{\text{факт}}$ – фактический (наблюдаемый) уровень вероятности респираторных заболеваний вирусной природы;

$p^{\text{фон}}$ – фоновый (базовый) уровень вероятности респираторных заболеваний вирусной природы.

Фактический (наблюдаемый) уровень вероятности определяется на основе данных о заболеваемости (инцидентности), зарегистрированной в официальных статистических формах учета инфекционной заболеваемости по соответствующей нозологии. Фоновый (базовый) уровень инцидентности представляет собой часть официально зарегистрированной заболеваемости, формируемой вследствие естественного взаимодействия популяций микро- (возбудитель – вирусный агент) и макроорганизмов (восприимчивое население), обусловленного их гено- и фенотипической гетерогенностью, фазовой самоперестройкой, взаимоизменчивостью биологических свойств популяций. Данный уровень является естественным незлиминируемым ординарным уровнем заболеваемости и принимается как 5-й перцентиль распределения показателей инцидентности респираторных заболеваний вирусной природы среди 82 субъектов России.

Степень воздействия комплекса СГД на инцидентность респираторных заболеваний вирусной природы определяется на основе результатов математического моделирования искомых зависимостей и формализуется в виде двух моделей. Первая модель вычисляет значение инцидентности респираторных заболеваний вирусной природы в ответ на изменение погодного-климатических факторов для каждого месяца в году ($\Delta p_{\text{климат}}$). Зависимой переменной в модели первого уровня является разность фактического и фонового уровня месячной заболеваемости. В качестве независимых переменных исполь-

зовались величины отклонений погодно-климатических показателей⁶ по месяцам (мощность ультрафиолетового излучения спектра В (Вт/м²); относительная влажность воздуха (%); средняя температура воздуха (°С); скорость ветра (м/с); отклонение от среднесуточной температуры (%)) от значений физиологических оптимумов⁷, которые рассчитывались по формуле (3):

$$\hat{x}_i = \begin{cases} x_i < x_i^{N_{\min}}, |x_i - x_i^{N_{\min}}| \\ x_i^{N_{\min}} < x_i < x_i^{N_{\max}}, 0 \\ x > x_i^{N_{\max}}, |x - x_i^{N_{\max}}| \end{cases}, \quad (3)$$

где \hat{x}_i – отклонение фактического значения i -го фактора от уровня оптимума;

x_i – фактическое значение i -го фактора;

$x_i^{N_{\min}}, x_i^{N_{\max}}$ – нижняя и верхняя граница оптимумов i -го фактора.

Итоговая зависимость уровней дополнительной вероятности возникновения респираторных заболеваний вирусной природы, ассоциированных с погодно-климатическими показателями, описывается множественной линейной регрессионной моделью по формуле (4):

$$\Delta p_{\text{климат}} = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \hat{x}_i(t), \quad (4)$$

где a_0, a_i – параметры множественной линейной регрессионной модели.

Вторая модель – искусственная нейронная сеть (ИНС) прямого распространения в виде многослойного персептрона с двумя внутренними слоями из 16 и 4 нейронов соответственно (рис. 1).

В качестве входных данных (независимые переменные) использовались значения 105 показателей всех доменов (погодно-климатические показатели не использовались (результат первой модели)), зависимой переменной являлись значения инцидентности за исключением фона (5-го персентиля) и модельных значений первой модели, формула (5):

$$\Delta p_{\text{СГД}} = \Delta p_{\text{СГД+климат}} - \sum_{i=1}^{12} (a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \hat{x}_i(t)). \quad (5)$$

Предварительно выполнялась процедура нормализации первичного набора показателей методом min-max:

$$\tilde{y}_j = \frac{y_j - y_j^{\min}}{y_j^{\max} - y_j^{\min}}, \quad (6)$$

где \tilde{y}_j – нормированное значение j -й переменной; y_j^{\min}, y_j^{\max} – минимальное и максимальное значения j -й переменной.

В качестве функции активации нейронов использовалась сигмоидная функция.

Итоговое значение инцидентности, обусловленное воздействием комплекса СГД, рассчитывается как сумма моделей 1 и 2.

Тяжесть течения (g) респираторных заболеваний вирусной природы характеризует совокупность особенностей их клинического течения и исходов. На основе данных руководства⁸, средневзвешенная тяжесть гриппа и ОРВИ составляет 0,006114.

Коэффициент модификации течения респираторных заболеваний вирусной природы (w), определяемый комплексом СГД, отражает изменение длительности течения заболевания и также влияет на

⁶ Научно-прикладной справочник «Климат России»: регистрация базы данных / В.Н. Разуваев, О.Н. Бульгина, Н.Н. Коршунова, Л.К. Клещенко, В.Н. Кузнецова, Л.Т. Трофименко, А.Б. Шерстюков, Н.В. Швець [и др.]. – ВНИИГМИ-МЦД, 2020. – номер свидетельства: RU 2020621470; номер заявки: 2020620899.

⁷ МР 2.2.7.2129-06. Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях: методические рекомендации / утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 19 сентября 2006 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200047514> (дата обращения: 22.09.2025); МР 2.2.8.0017-10. Режимы труда и отдыха работающих в нагреваемом микроклимате в производственном помещении и на открытой местности в теплый период года: методические рекомендации / утв. Руководителем Федеральной службы по защите прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 28 декабря 2010 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200085861> (дата обращения: 22.09.2025); МУК 4.3.1895-04. Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания: методические указания / утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации, Первым заместителем Министра здравоохранения Г.Г. Онищенко 3 марта 2004 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037350> (дата обращения: 22.09.2025).

⁸ Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания / утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Поповой А.Ю. 06 сентября 2023 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – Таблица П 7.1. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1304711431> (дата обращения: 27.09.2025).

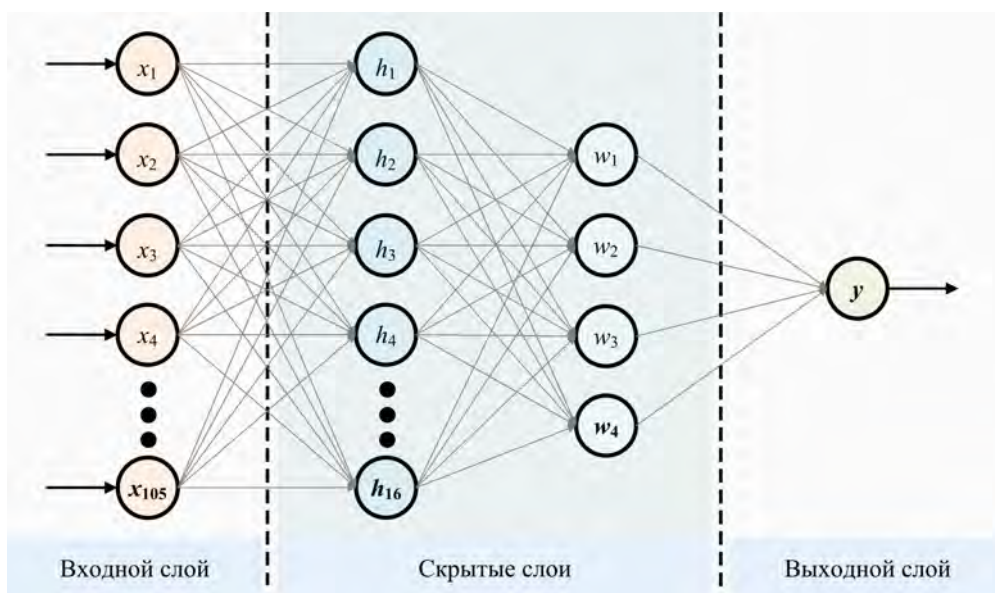


Рис. 1. Схема архитектуры используемой ИНС

итоговое значение риска. Данный коэффициент вычисляется как отношение длительности течения случая заболевания, обусловленной комплексом СГД (\tilde{d}), к его базовой длительности (d) согласно формуле (7):

$$w = \left(\frac{\tilde{d}}{d} \right), \quad (7)$$

где d – базовая длительность течения случая заболевания, \tilde{d} – длительность течения, обусловленная комплексом СГД.

Базовые параметры длительности устанавливаются, исходя из типичной длительности течения рассматриваемых заболеваний, описываемой в официальных клинических рекомендациях⁹ Министерства здравоохранения Российской Федерации. В настоящем исследовании «базовая» длительность течения ОРВИ/гриппа принимается равной 7,5 дня. Длительность течения, обусловленная комплексом СГД, определяется на основе модели (аналогичной модели 2) связей между ретроспективными значениями¹⁰ средней длительности течения случая заболевания по классу болезней органов дыхания и значениями показателей, характеризующих комплекс СГД.

Сбор, обработка, анализ и визуализация данных выполнялись с использованием стандартных программных пакетов для статистического анализа в MS Excel 2010 и RStudio (версия 4.2.0., библиотека neuralnet).

Результаты и их обсуждение. Анализ динамики показателей суммарной инцидентности ОРВИ

и гриппом среди 82 субъектов России за 2010–2019 гг. показывают выраженную внутригодовую сезонность с акцентом на осенне-зимний период, присущую рассматриваемым респираторным заболеваниям вирусной природы (рис. 2). Обращают на себя внимание значимые «всплески» первичной заболеваемости в 2011, 2015, 2017 гг., ассоциированные с подтипами вирусных штаммов А (*H1N1*) и А (*H3N2*). В 2016–2017 гг. отмечаются и более «широкие плечи» (пики) заболеваемости, показывая большее распространение штамма в данный эпидемический сезон среди субъектов России. Уровни суммарной инцидентности ОРВИ и гриппа за вычетом 5-го персентилля (базовый, неэлиминируемый уровень) принимались в качестве модифицируемых комплексом СГД. Отдельные оценки данных показателей в разрезе COVID-19 показаны авторами ранее [27].

Результаты анализа мультиколлинеарности погодно-климатических показателей продемонстрировали ее отсутствие среди рассматриваемых независимых переменных по данным матрицы корреляции и значениям VIF (< 5) (табл. 1), т. е. можно считать, что данные достаточно ортогональны (независимы).

По результатам моделирования (табл. 2) связей между уровнями суммарной инцидентности ОРВИ и гриппа, обуславливаемыми комплексом СГД, и набором погодно-климатических показателей получена значимая (F -критерий $< 0,05$) модель с умеренным значением коэффициента детерминации ($R^2 = 0,35$) с тремя статистически достоверными переменными (x_1, x_2, x_4).

⁹ Острые респираторные вирусные инфекции (ОРВИ) у взрослых: клинические рекомендации // Министерство здравоохранения РФ. – 84 с. – Пункт 1.5; Длительность течения ОРВИ при остром варианте составляет 5–10 дней.

¹⁰ Здравоохранение в России. 2023: стат. сб. – М.: Росстат, 2023. – 179 с. – Раздел 2. Состояние здоровья населения. – Табл. 2.2. Причины временной нетрудоспособности.

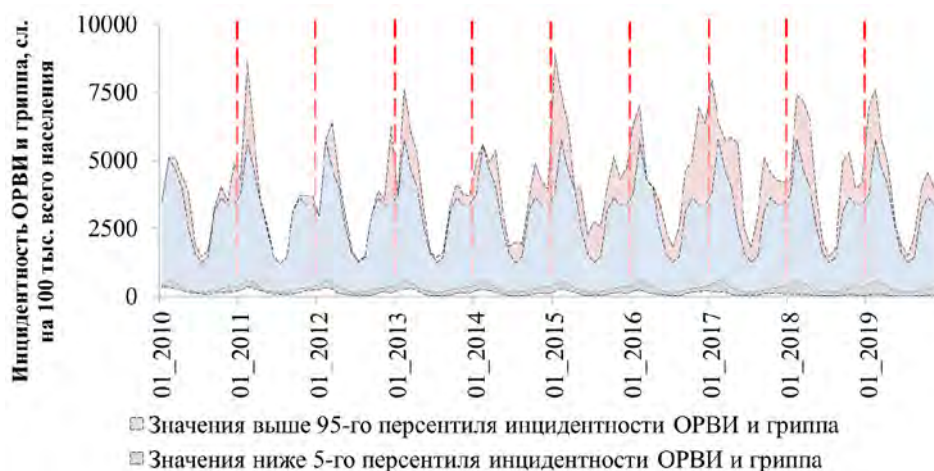


Рис. 2. Динамика изменения минимальных и максимальных значений суммарной инцидентности ОРВИ и гриппа среди субъектов России за период 2010–2019 гг.

Таблица 1

Результаты оценки мультиколлинеарности между погодно-климатическими показателями

Параметр	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_1	1,00	0,578	0,202	0,196	-0,039
x_2	0,578	1,00	0,373	0,086	-0,014
x_3	0,202	0,373	1,00	0,009	0,059
x_4	0,196	0,086	0,009	1,00	-0,061
x_5	-0,039	-0,014	0,059	-0,061	1,00
VIF	1,55	1,68	1,17	1,05	1,01

Примечание: x_1 – мощность ультрафиолетового излучения спектра В, Вт/м²; x_2 – относительная влажность воздуха, %; x_3 – средняя температура воздуха, °С; x_4 – скорость ветра, м/с; x_5 – отклонение от среднееголетней температуры, %; VIF – фактор инфляции дисперсии (англ. Variance Inflation Factor).

Таблица 2

Параметры множественной регрессионной модели связи между уровнями суммарной инцидентности ОРВИ и гриппа и погодно-климатическими показателями

b_0	$*b_1$	$*b_2$	b_3	$*b_4$	b_5
-8 349,86	39 014,89	42,18	-0,97	-40,03	5,12
<i>SE</i> (b_0)	<i>SE</i> (b_1)	<i>SE</i> (b_2)	<i>SE</i> (b_3)	<i>SE</i> (b_4)	<i>SE</i> (b_5)
530,45	2 387,39	0,92	2,65	9,59	9,48
R^2	R^2 (скор.)	<i>SE</i> (Y)	Стандарт. бета-коэффициенты регрессии ($\beta_1 - \beta_5$)		
0,3489	0,3488	856,0324			
<i>F</i> -статистика		<i>df</i>			
1 054,2548		9 834			

Примечание: * p -критерий < 0,001.

Согласно значениям стандартизованных коэффициентов регрессии (β), наиболее значимыми независимыми переменными в данной модели являются степень отклонения от оптимумов относительной влажности и мощности ультрафиолетового излучения. Данные научной литературы подтверждают, что изменения параметра влажности воздуха относительно гигиенических нормативов могут приводить как к большей восприимчивости организма за счет высушивания слизистых воздухоносных путей

[28], так и к большим возможностям выживания и транспортирования вирусного инфекционного агента за счет большей насыщенности водяными парами с наличием аэрозоля [29]. Оценка ассоциаций между факторами среды обитания проводилась авторами ранее, в том числе с погодно-климатической составляющей [30, 31].

Согласно апробируемому методическому подходу реализовано две модели искусственной нейронной сети для прогнозирования степени влияния

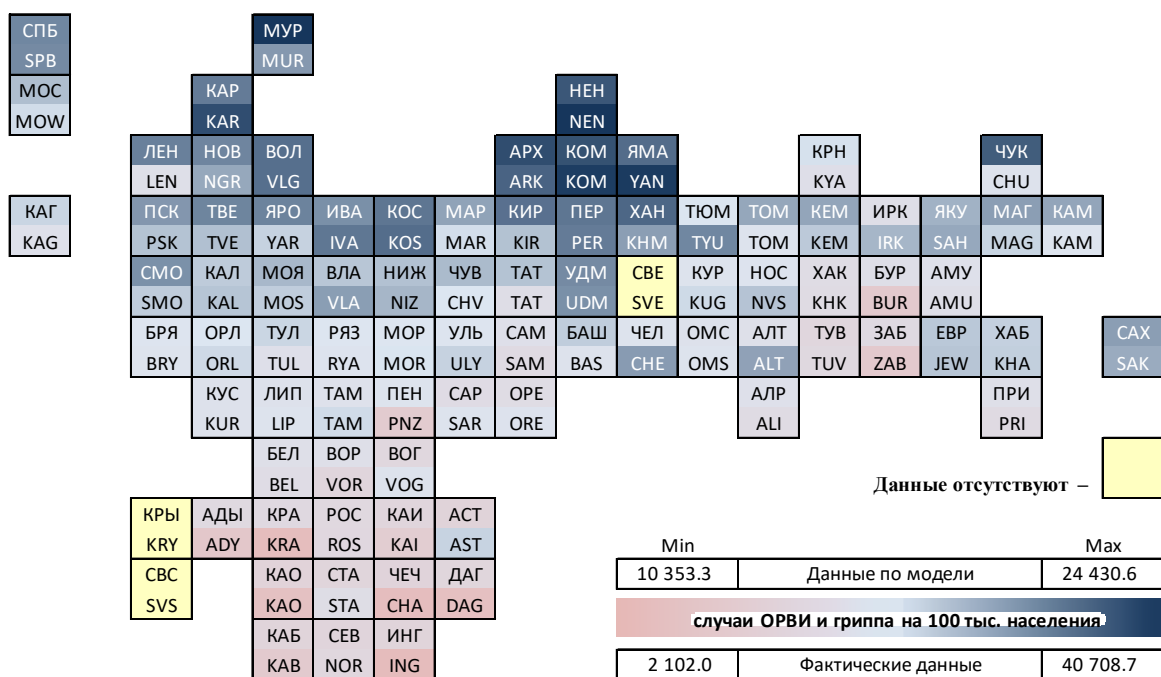


Рис. 3. Усредненные за 2010–2019 гг. модельные значения суммарной инцидентности ОРВИ и гриппа, обусловленные набором погодно-климатических показателей, случаев на 100 тыс. всего населения

факторов среды обитания и образа жизни на суммарные уровни инцидентности ОРВИ и гриппа ($R^2 = 0,691$), а также длительность течения (d) случая болезни органов дыхания ($R^2 = 0,6$) (по 1748 коэффициентов соответственно).

Сравнительный анализ результатов расчетов по первой модели с фактическими данными суммарной инцидентности ОРВИ и гриппа, усредненных за 2010–2019 гг., показал, что полученная модель в целом воспроизводит пространственное распределение интенсивности эпидемического процесса (рис. 3) и указывает на его увеличение с ростом широтности.

По результатам анализа региональной динамики изменения значений суммарной инцидентности ОРВИ и гриппа по первой модели среди субъектов России установлено, что наибольший прирост произошел в Республике Башкортостан (+13,5% в среднем с 2010–2011 по 2018–2019 гг.), наибольшая убыль – в Кабардино-Балкарской Республике (-28,7% в среднем с 2010–2011 по 2018–2019 гг.). Наибольший уровень среднееголетнего значения инцидентности ОРВИ и гриппа (2010–2019 гг.) зафиксирован для Мурманской области (24 430,6 сл. на 100 тыс. всего населения), наименьший – для Карачаево-Черкесской Республики (10 353,3 сл. на 100 тыс. всего населения).

В среднем по каскаду используемых моделей объясняется $\approx 60,0\%$ фактически регистрируемой годовой суммарной инцидентности ОРВИ и гриппа (рис. 4).

Рассчитаны значения риска по результатам обеих моделей по субъектам России (рис. 5). Значения риска не вычислены за 2010–2011 гг. ввиду отсутст-

вия данных по продолжительности случаев нетрудоспособности по субъектам России. Спецификация модели ИНС с линейным выходом в некоторых сценариях приводила к значениям «отрицательной заболеваемости» и, соответственно, к «отрицательному риску», что, безусловно, не имеет содержательной интерпретации. Так как целевая переменная (заболеваемость) по своей природе является неотрицательной, для выходных значений модели выполнено цензурирование результатов «снизу» по уровню нуля. Рассчитанные модельные значения риска по моделям показывают, что в большей степени значения заболеваемости ОРВИ и гриппа определяются погодно-климатическими факторами, которые относительно стабильны в динамике.



Рис. 4. Усредненные за 2010–2019 гг. модельные значения суммарной инцидентности ОРВИ и гриппа, обусловленные набором погодно-климатических показателей, случаев на 100 тыс. всего населения

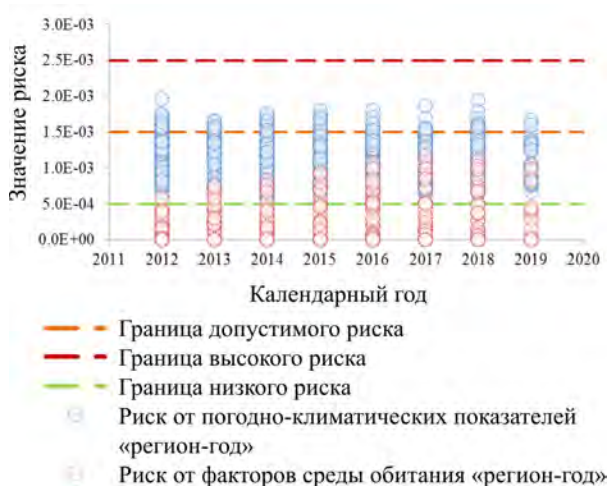


Рис. 5. Значения риска модификации течения респираторных заболеваний по моделям, обусловленные воздействием погодно-климатических показателей и факторов среды обитания и образа жизни населения на территориях России за 2012–2019 гг.

Факторы среды обитания при этом, оказывая меньшее влияние на заболеваемость и, соответственно, риск, в динамике увеличивают свою значимость, хоть и большая часть (74,54 %) рассчитанных моделью ИНС значений подверглись цензурированию (перевод в ноль).

Результаты оценки динамики изменения значений суммарной инцидентности ОРВИ и гриппа по второй модели среди субъектов России показали, что наибольший прирост произошел в Алтайском крае (+682,9 % в среднем с 2010–2011 по 2018–2019 гг.), наибольшая убыль – в Астраханской области (-52,2 % в среднем с 2010–2011 по 2018–2019 гг.).

Сценарные расчеты «субъект – год» по второй модели при изолированном итеративном изменении исследуемого набора факторов среды обитания на 1,0 % с учетом принципа биологического правдоподобия показали, что в среднем наиболее значимый эффект (снижение инцидентности) наблюдается для группы показателей системы здравоохранения (0,52 случая на 100 тыс. населения) за счет числа привитых лиц (0,8 случая на 100 тыс. населения), группы образа жизни (0,49 случая на 100 тыс. населения), группы социально-демографических показателей

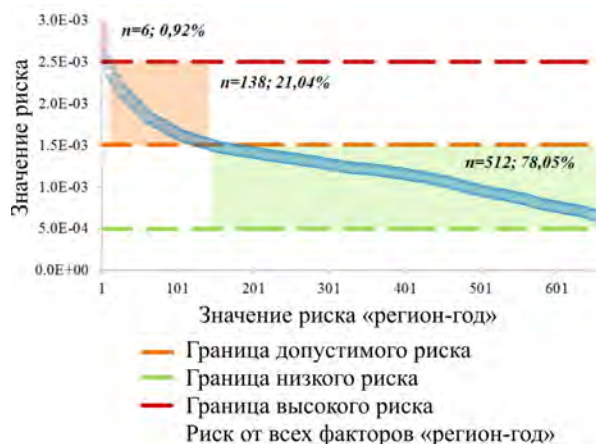


Рис. 6. Значения риска модификации течения респираторных заболеваний по моделям, обусловленного совокупным воздействием факторов среды обитания и образа жизни населения на территориях России за 2012–2019 гг. (зеленым фоном обозначены единицы «территория – год» в зоне допустимого риска, оранжевым – в зоне настораживающего)

(0,45 случая на 100 тыс. населения), показателей фоновой заболеваемости (0,32 случая на 100 тыс. населения), экономических показателей (0,28 случая на 100 тыс. населения), санитарно-эпидемиологических показателей (0,21 случая на 100 тыс. населения).

Согласно полученным модельным значениям суммарной инцидентности ОРВИ и гриппа, имеющемуся средневзвешенному значению тяжести ОРВИ и гриппа, а также отношению модельных значений длительности случая болезней органов дыхания к среднему значению фактической длительности подобных случаев, рассчитаны уровни риска модификации течения рассматриваемых респираторных заболеваний вирусной природы (рис. 6).

Полученные расчетные значения риска на выбранных 82 территориях России за 2012–2019 гг., основанные на модельных данных, являются базой для обоснования количественной и качественной шкалы риска (табл. 3).

Принимается, что среднее арифметическое значение (1,5E-03) является среднесрочной тенденцией реализации воздействия наблюдаемых относительно стабильных погодно-климатических условий и инерционных факторов среды обитания

Таблица 3

Классификация уровней риска модификации течения респираторных заболеваний вирусной природы

Оценка риска		Описание мероприятий
количественная	качественная	
$> 2,5 \cdot 10^{-3}$	Высокий	Рекомендуется выполнение комплексной оценки санитарно-эпидемиологической обстановки. Формируются предложения по снижению уровней риска по комплексу СГД
$1,5 \cdot 10^{-3} - 2,49 \cdot 10^{-3}$	Настораживающий	
$0,5 \cdot 10^{-3} - 1,49 \cdot 10^{-3}$	Допустимый	Рекомендуется выполнение перспективной оценки санитарно-эпидемиологической обстановки. Предлагается сохранение текущей динамики изменения комплекса СГД
$< 0,5 \cdot 10^{-3}$	Минимальный	

на интенсивность протекания эпидемического процесса рассматриваемых нозологий. Верхняя и нижняя границы риска выбраны на основе равномерного «шага» ($1,0E-03$), приближенного к стандартному отклонению ($8,51E-04$) по выборке расчетных значений совокупного риска.

Ограничения и перспективы исследования.

В качестве ограничений исследования выделены: используемый набор панельных данных (выбранные показатели, период их агрегации); способ построения моделей (множественная линейная регрессия, структура ИНС, функция активации нейронов); выбранные значения физиологических «оптимумов»; выбранный неэлиминируемый уровень инцидентности; временная (сценарная) условность задания шкалы риска.

Выводы. Таким образом, результаты разработанного методического подхода с использованием методов математического моделирования, в том числе машинного обучения (искусственные нейронные сети), позволили выполнить комплексную оценку влияния на показатели инцидентности ОРВИ и гриппом неуправляемого погоднo-климатического фактора (максимальный прирост: Республика Башкортостан (+13,5 % в среднем с 2010–2011 гг. по 2018–2019 гг.); максимальная убыль: Кабардино-Балкарская Республика (-28,7 % за аналогичный период)) и факторов среды обитания и образа жизни (максималь-

ный прирост: Алтайский край (+682,9 % в среднем с 2010–2011 гг. по 2018–2019 гг.); максимальная убыль: Астраханская область (-52,2 % за аналогичный период)) на модификацию течения респираторных заболеваний.

Выполненные расчеты по оценке риска среди 82 рассматриваемых территорий за период 2010–2019 гг. (656 сценариев «регион – год») позволили выделить установившийся многолетний режим взаимодействия популяций микро- и макроорганизмов на фоне относительно стабильных факторов среды обитания и образа жизни населения в виде шкалирования характерных уровней риска с количественной и качественной интерпретацией.

Полученный инструмент оценки риска модификации течения респираторных заболеваний, обусловленного воздействием факторов среды обитания и образа жизни населения с учетом региональных особенностей территории, показал, что 0,92 % случаев «территория – год» пришлось на зону высокого риска, 21,04 % находились в границах допустимого риска, 78,05 % – в зоне низкого риска.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Estimates of global seasonal influenza-associated respiratory mortality: a modelling study / A.D. Iuliano, K.M. Roguski, H.N. Chang, D.J. Muscatello, R. Palekar, S. Tempia, C. Cohen, J.M. Gran [et al.] // *Lancet*. – 2018. – Vol. 391, № 10127. – P. 1285–1300. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)33293-2
2. Global burden of respiratory infections due to seasonal influenza in young children: a systematic review and meta-analysis / H. Nair, W.A. Brooks, M. Katz, A. Roca, J.A. Berkley, S.A. Madhi, J.M. Simmerman, A. Gordon [et al.] // *Lancet*. – 2011. – Vol. 378, № 9807. – P. 1917–1930. DOI: 10.1016/s0140-6736(11)61051-9
3. Оценка популяционного иммунитета к гриппу и ОРВИ населения Москвы в период эпидемического сезона 2023–2024 гг. / В.А. Гущин, Т.А. Семенов, Е.И. Бурцева, Я.В. Симакова, Д.А. Огаркова, А.В. Ноздрачева, Т.П. Готвянская, Т.В. Ермакова [и др.] // *Эпидемиология и Вакцинопрофилактика*. – 2025. – Т. 25, № 4. – С. 14–30. DOI: 10.31631/2073-3046-2025-24-4-14-30
4. Биличенко Т.Н., Быстрицкая Е.В., Мишарин В.М. Заболеваемость, летальность и смертность населения России по причине болезней органов дыхания за 2016–2021 гг. и COVID-19 за 2020–2021 гг. // *Медицина экстремальных ситуаций*. – 2024. – Т. 26, № 3. – С. 113–121. DOI: 10.47183/mes.2024-26-3-113-121
5. Trends of global and regional aetiologies, risk factors and mortality of lower respiratory infections from 1990 to 2019: An analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 / L. Kang, W. Jing, J. Liu, M. Liu // *Respirology*. – 2023. – Vol. 28, № 2. – P. 166–175. DOI: 10.1111/resp.14389
6. Global patterns and trends in deaths of influenza-associated lower respiratory infections from 1990 to 2019 / C. Chen, D. Chen, Y. Du, D. Jiang, K. Cao, M. Yang, X. Wu, M. Chen [et al.] // *Epidemiol. Infect.* – 2025. – Vol. 153. – P. e49. DOI: 10.1017/S0950268824001559
7. The trends of mortality, aetiologies and risk factors of lower respiratory infections in Saudi Arabia from 1990 to 2021: results from the global burden of disease study 2021 / M. Ramadan, R. Bajunaid, J.A. Alansari, H. Yusef, R.A. Alsiary // *J. Health Popul. Nutr.* – 2025. – Vol. 44, № 1. – P. 172. DOI: 10.1186/s41043-025-00882-7
8. Phelan J.C., Link B.G., Tehranifar P. Social conditions as fundamental causes of health inequalities: theory, evidence, and policy implications // *J. Health Soc. Behav.* – 2010. – Vol. 51, Suppl. – P. S28–S40. DOI: 10.1177/0022146510383498
9. Inequality in acute respiratory infection outcomes in the United States: A review of the literature and its implications for public health policy and practice / E. Moran, J. Kubale, G. Noppert, R. Malosh, J. Zelner // *medRxiv*. – 2020. DOI: 10.1101/2020.04.22.20069781
10. There are no equal opportunity infectors: Epidemiological modelers must rethink our approach to inequality in infection risk / J. Zelner, N.B. Masters, R. Narahariseti, S.A. Mojola, M. Chowkwanyun, R. Malosh // *PLoS Comput. Biol.* – 2022. – Vol. 18, № 2. – P. e1009795. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1009795
11. Healthy lifestyle in low-socioeconomic groups: expert views / L.A. Hoveling, M.A. Alma, J.A. Landsman-Dijkstra, N. Smidt, S.A. Reijneveld, U. Bültmann, M.L.A. De Kroon // *Front. Public Health*. – 2025. – Vol. 13. – P. 1511317. DOI: 10.3389/fpubh.2025.1511317

12. Social vulnerability and the risk of respiratory virus infection in households: a case-ascertained study / S.H. Goodman, A. Mellis, C.C. Sarnquist, C.G. Grijalva, H.K. Talbot, M.S. Stockwell, S.H. McLaren, E. Sano [et al.] // BMC Infect. Dis. – 2025. – Vol. 26, № 1. – P. 92. DOI: 10.1186/s12879-025-12310-6
13. Environmental Factors Influencing COVID-19 Incidence and Severity / A.K. Weaver, J.R. Head, C.F. Gould, E.J. Carlton, J.V. Remais // Annu. Rev. Public Health. – 2022. – Vol. 43. – P. 271–291. DOI: 10.1146/annurev-publhealth-052120-101420
14. COVID-19 pandemic and socio-environmental inequality: A narrative review / L.R. Kalankesh, Z. Rezaei, A. Moham-madpour, M. Taghavi // Health Sci. Rep. – 2023. – Vol. 6, № 6. – P. e1372. DOI: 10.1002/hsr2.1372
15. Modulation of COVID-19 incidence by environmental stressors is variant between pre-Omicron and Omicron periods / L. Hoffmann, L. Gilardi, T. Antoni, M. Baltruweit, M. Bittner, S. Breitner, S. Dally, T. Erbertseder [et al.] // Sci. Rep. – 2025. – Vol. 15, № 1. – P. 27636. DOI: 10.1038/s41598-025-13521-2
16. The Social and Natural Environment's Impact on SARS-CoV-2 Infections in the UK Biobank / R.J. Scalsky, Y.-J. Chen, Z. Yin, J.A. Perry, C.C. Hong // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2022. – Vol. 19, № 1. – P. 533. DOI: 10.3390/ijerph19010533
17. Investigating the Role of Environmental Factors on the Survival, Stability, and Transmission of SARS-CoV-2, and Their Contribution to COVID-19 Outbreak: A Review / L. Mohammadi, A. Mehravaran, Z. Derakhshan, E. Gharehchahi, E. Bontempi, M. Golaki, R. Khaksefidi, M. Motamed-Jahromi [et al.] // Sustainability. – 2022. – Vol. 14, № 18. – P. 11135. DOI: 10.3390/su141811135
18. Choi Y.-W., Tuel A., Eltahir E.A.B. On the Environmental Determinants of COVID-19 Seasonality // Geohealth. – 2021. – Vol. 5, № 6. – P. e2021GH000413. DOI: 10.1029/2021GH000413
19. Environmental factors and their impact on the COVID-19 pandemic / J. Kreutz, J. Heitmann, A.-C. Schäfer, S. Aldudak, B. Schieffer, E. Schieffer // Herz. – 2023. – Vol. 48, № 3. – P. 234–238. DOI: 10.1007/s00059-023-05178-2
20. Epidemiological waves – Types, drivers and modulators in the COVID-19 pandemic / J. Harvey, B. Chan, T. Srivastava, A.E. Zarebski, P. Dłotko, P. Błaszczak, R.H. Parkinson, L.J. White [et al.] // Heliyon. – 2023. – Vol. 9, № 5. – P. e16015. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16015
21. Gilles S., Damialis A., Traidl-Hoffmann C. Environmental factors: a “missing link” in COVID-19 // Allergo J. Int. – 2021. – Vol. 30, № 3. – P. 115–118. DOI: 10.1007/s40629-021-00170-w
22. Deploying digital health data to optimize influenza surveillance at national and local scales / E.C. Lee, A. Arab, S.M. Goldlust, C. Viboud, B.T. Grenfell, S. Bansal // PLoS Comput. Biol. – 2018. – Vol. 14, № 3. – P. e1006020. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1006020
23. Spatial aggregation choice in the era of digital and administrative surveillance data / E.C. Lee, A. Arab, V. Colizza, S. Bansal // PLOS Digit. Health. – 2022. – Vol. 1, № 6. – P. e0000039. DOI: 10.1371/journal.pdig.0000039
24. Ильячева Т.Н., Нетесов С.В., Гуреев В.Н. COVID-19, грипп и другие острые респираторные вирусные инфекции: этиология, иммунопатогенез, диагностика и лечение. Часть I. COVID-19 и грипп // Молекулярная генетика, микробиология и вирусология. – 2022. – Т. 40, № 1. – С. 3–11. DOI: 10.17116/molgen2022400113
25. The Effect of Local and Global Interventions on Epidemic Spreading / J. Fan, H. Du, Y. Wang, X. He // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2021. – Vol. 18, № 23. – P. 12627. DOI: 10.3390/ijerph182312627
26. EpiGeoPop: a tool for developing spatially accurate country-level epidemiological models / L. Herriott, H.L. Capel, I. Ellmen, N. Schofield, J. Zhu, B. Lambert, D. Gavaghan, I. Bouros [et al.] // Sci. Rep. – 2025. – Vol. 15, № 1. – P. 26663. DOI: 10.1038/s41598-025-11999-4
27. Неоднородность параметров модифицированной SIR-модели волн эпидемического процесса COVID-19 в Российской Федерации / А.Ю. Попова, Н.В. Зайцева, В.Б. Алексеев, А.Н. Летюшев, Д.А. Кирьянов, С.В. Клейн, М.Р. Камалтдинов, М.В. Глухих // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102, № 8. – С. 740–749. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-8-740-749
28. Lowen A.C., Steel J. Roles of humidity and temperature in shaping influenza seasonality // J. Virol. – 2014. – Vol. 88, № 14. – P. 7692–7695. DOI: 10.1128/JVI.03544-13
29. Indoor relative humidity shapes influenza seasonality in temperate and subtropical climates in China / H. Lei, M. Yang, Z. Dong, K. Hu, T. Chen, L. Yang, N. Zhang, X. Duan [et al.] // Int. J. Infect. Dis. – 2023. – Vol. 126. – P. 54–63. DOI: 10.1016/j.ijid.2022.11.023
30. Социально-гигиенические детерминанты заболеваемости гриппом и острой респираторной вирусной инфекцией / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, Д.А. Кирьянов, М.В. Глухих // Гигиена и санитария. – 2025. – Т. 104, № 11. – С. 1399–1406. DOI: 10.47470/0016-9900-2025-104-11-1399-1406
31. Вариативность параметров эпидемического процесса COVID-19, обусловленная влиянием региональных социально-гигиенических факторов / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, В.Б. Алексеев, Д.А. Кирьянов, М.В. Глухих // Здравоохранение Российской Федерации. – 2023. – Т. 67, № 6. – С. 510–518. DOI: 10.47470/0044-197X-2023-67-6-510-518

Оценка риска модификации течения респираторных заболеваний, обусловленного воздействием факторов среды обитания и образа жизни населения с учетом региональных особенностей территории / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, Д.А. Кирьянов, М.В. Глухих, М.Ю. Цинкер, П.Д. Свинцова // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 4–17. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.01

UDC 613; 614
DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.01.eng



Research article

ASSESSING RISKS OF MODIFIED CLINICAL COURSE OF RESPIRATORY DISEASES CAUSED BY ENVIRONMENTAL EXPOSURES AND LIFESTYLE FACTORS CONSIDERING REGIONAL SPECIFICITY

N.V. Zaitseva, S.V. Kleyn, D.A. Kiryanov, M.V. Glukhikh, M.Yu. Tsinker, P.D. Svintsova

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

The aim of this study was to estimate the risk of modified clinical course of viral respiratory diseases (influenza, ARVI, COVID-19) due to environmental exposures and effects of lifestyle factors considering regional peculiarities in the Russian Federation.

The study relied on using data from federal statistical reports issued in 2010–2019 for 82 Russian regions. ARVI and influenza incidence was analyzed. A set of social and hygienic determinants (SHD) was represented by 112 indicators grouped in 7 domains. Multiple linear regression was used to estimate contributions made by unmanageable weather and climatic factors (UV-radiation intensity, humidity, air temperature, wind speed, deviation from average long-term temperature levels). An artificial neural network (multilayer perceptron) was used to assess effects produced by other environmental and lifestyle factors. Risk was calculated as a product of disease likelihood (Δp), determined by SHD, disease severity (g) and coefficient of modified disease duration (w).

Approximately 60 % of actually registered annual ARVI and influenza incidence was found to be caused by combined effects of the analyzed factors. Weather and climatic factors had more stable and considerable effect on this incidence relative to other environmental exposures. A four-level scale for risk classification was created based on its calculated values over 2012–2019 (minimal, permissible, alerting, and high) together with outlining relevant risk management activities.

Scenario calculations allowed revealing the most significant factors for decreasing ARVI and influenza incidence. If ranked in the descending order, they were quality of the public healthcare system, lifestyle, sociodemographic indicators, background incidence rates, economic indicators, and sanitary-epidemiological indicators (0.52, 0.49, 0.45, 0.32, 0.28 and 0.21 cases per 100 thousand people respectively). An increase in the number of vaccinated people was found to make the greatest contribution to incidence decline among all manageable factors (on average, 0.8 cases per 100 thousand people).

The developed methodical approach based on a cascade of mathematical models, makes it possible to quantify contributions made by manageable and unmanageable factors to modified course of respiratory epidemics (ARVI and influenza). The study results and the risk scale can be used for substantiating targeted preventive and anti-epidemic activities, regional specificity taken in account.

Keywords: *influenza, ARVI, COVID-19, environmental factors, risk assessment, regional peculiarities.*

© Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Kiryanov D.A., Glukhikh M.V., Tsinker M.Yu., Svintsova P.D., 2026

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: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

Svetlana V. Kleyn – Professor of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Research (e-mail: kleyn@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>).

Dmitry A. Kiryanov – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Systems and Processes Mathematical Modeling (e-mail: kda@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5406-4961>).

Maxim V. Glukhikh – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher at the Department for Systemic Procedures of Sanitary-Hygienic Analysis and Monitoring (e-mail: gluhih@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4755-8306>).

Mikhail Yu. Tsinker – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior 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>).

Polina D. Svintsova – mathematician of the Department for Mathematical Modeling of Systems and Processes (e-mail: appolinaryasd@gmail.com; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3010-1224>).

References

1. Iuliano A.D., Roguski K.M., Chang H.H., Muscatello D.J., Palekar R., Tempia S., Cohen C., Gran J.M. [et al.]. Estimates of global seasonal influenza-associated respiratory mortality: a modelling study. *Lancet*, 2018, vol. 391, no. 10127, pp. 1285–1300. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)33293-2
2. Nair H., Brooks W.A., Katz M., Roca A., Berkley J.A., Madhi S.A., Simmerman J.M., Gordon A. [et al.]. Global burden of respiratory infections due to seasonal influenza in young children: a systematic review and meta-analysis. *Lancet*, 2011, vol. 378, no. 9807, pp. 1917–1930. DOI: 10.1016/s0140-6736(11)61051-9
3. Gushchin V.A., Semenenko T.A., Burtseva E.I., Simakova Y.V., Ogarkova D.A., Nozdracheva A.V., Gotvyanskaya T.P., Ermakova T.V. [et al.]. Assessment of Population Immunity to Influenza and Acute Respiratory Viral Infections of Moscow Population during 2023–2024 Epidemic Season. *Epidemiologiya i Vaksinoprofilaktika*, 2025, vol. 25, no. 4, pp. 14–30. DOI: 10.31631/2073-3046-2025-24-4-14-30 (in Russian).
4. Bilichenko T.N., Bystritskaya E.V., Misharin V.M. Morbidity, mortality, and lethality of the Russian population due to respiratory diseases for 2016–2021 and COVID-19 for 2020–2021. *Extreme Medicine*, 2024, vol. 26, no. 3, pp. 113–121. DOI: 10.47183/mes.2024-26-3-113-121
5. Kang L., Jing W., Liu J., Liu M. Trends of global and regional aetiologies, risk factors and mortality of lower respiratory infections from 1990 to 2019: An analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Respirology*, 2023, vol. 28, no. 2, pp. 166–175. DOI: 10.1111/resp.14389
6. Chen C., Chen D., Du Y., Jiang D., Cao K., Yang M., Wu X., Chen M. [et al.]. Global patterns and trends in deaths of influenza-associated lower respiratory infections from 1990 to 2019. *Epidemiol. Infect.*, 2025, vol. 153, pp. e49. DOI: 10.1017/S0950268824001559
7. Ramadan M., Bajunaid R., Alansari J.A., Yusef H., Alsiary R.A. The trends of mortality, aetiologies and risk factors of lower respiratory infections in Saudi Arabia from 1990 to 2021: results from the global burden of disease study 2021. *J. Health Popul. Nutr.*, 2025, vol. 44, no. 1, pp. 172. DOI: 10.1186/s41043-025-00882-7
8. Phelan J.C., Link B.G., Tehranifar P. Social conditions as fundamental causes of health inequalities: theory, evidence, and policy implications. *J. Health Soc. Behav.*, 2010, vol. 51, suppl., pp. 28–40. DOI: 10.1177/0022146510383498
9. Moran E., Kubale J., Noppert G., Malosh R., Zelner J. Inequality in acute respiratory infection outcomes in the United States: A review of the literature and its implications for public health policy and practice. *medRxiv*, 2020. DOI: 10.1101/2020.04.22.20069781
10. Zelner J., Masters N.B., Narahariseti R., Mojola S.A., Chowkwanyun M., Malosh R. There are no equal opportunity factors: Epidemiological modelers must rethink our approach to inequality in infection risk. *PLoS Comput. Biol.*, 2022, vol. 18, no. 2, pp. e1009795. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1009795
11. Hoveling L.A., Alma M.A., Landsman-Dijkstra J.A., Smidt N., Reijneveld S.A., Bültmann U., De Kroon M.L.A. Healthy lifestyle in low-socioeconomic groups: expert views. *Front. Public Health*, 2025, vol. 13, pp. 1511317. DOI: 10.3389/fpubh.2025.1511317
12. Goodman S.H., Mellis A., Sarnquist C.C., Grijalva C.G., Talbot H.K., Stockwell M.S., McLaren S.H., Sano E. [et al.]. Social vulnerability and the risk of respiratory virus infection in households: a case-ascertained study. *BMC Infect. Dis.*, 2025, vol. 26, no. 1, pp. 92. DOI: 10.1186/s12879-025-12310-6
13. Weaver A.K., Head J.R., Gould C.F., Carlton E.J., Remais J.V. Environmental Factors Influencing COVID-19 Incidence and Severity. *Annu. Rev. Public Health*, 2022, vol. 43, pp. 271–291. DOI: 10.1146/annurev-publhealth-052120-101420
14. Kalankesh L.R., Rezaei Z., Mohammadpour A., Taghavi M. COVID-19 pandemic and socio-environmental inequality: A narrative review. *Health Sci. Rep.*, 2023, vol. 6, no. 6, pp. e1372. DOI: 10.1002/hsr2.1372
15. Hoffmann L., Gilardi L., Antoni T., Baltruweit M., Bittner M., Breitter S., Dally S., Erbertseder T. [et al.]. Modulation of COVID-19 incidence by environmental stressors is variant between pre-Omicron and Omicron periods. *Sci. Rep.*, 2025, vol. 15, no. 1, pp. 27636. DOI: 10.1038/s41598-025-13521-2
16. Scalsky R.J., Chen Y.-J., Yin, Z., Perry J.A., Hong C.C. The Social and Natural Environment's Impact on SARS-CoV-2 Infections in the UK Biobank. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, vol. 19, no. 1, pp. 533. DOI: 10.3390/ijerph19010533
17. Mohammadi L., Mehravaran A., Derakhshan Z., Gharehchahi E., Bontempi E., Golaki M., Khaksefidi R., Motamed-Jahromi M. [et al.]. Investigating the Role of Environmental Factors on the Survival, Stability, and Transmission of SARS-CoV-2, and Their Contribution to COVID-19 Outbreak: A Review. *Sustainability*, 2022, vol. 14, no. 18, pp. 11135. DOI: 10.3390/su141811135
18. Choi Y.-W., Tuel A., Eltahir E.A.B. On the Environmental Determinants of COVID-19 Seasonality. *Geohealth*, 2021, vol. 5, no. 6, pp. e2021GH000413. DOI: 10.1029/2021GH000413
19. Kreutz J., Heitmann J., Schäfer A.-C., Aldudak S., Schieffer B., Schieffer E. Environmental factors and their impact on the COVID-19 pandemic. *Herz*, 2023, vol. 48, no. 3, pp. 234–238. DOI: 10.1007/s00059-023-05178-2
20. Harvey J., Chan B., Srivastava T., Zarebski A.E., Dłotko P., Błaszczak P., Parkinson R.H., White L.J. [et al.]. Epidemiological waves – Types, drivers and modulators in the COVID-19 pandemic. *Heliyon*, 2023, vol. 9, no. 5, pp. e16015. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16015
21. Gilles S., Damialis A., Traidl-Hoffmann C. Environmental factors: a "missing link" in COVID-19. *Allergo J. Int.*, 2021, vol. 30, no. 3, pp. 115–118. DOI: 10.1007/s40629-021-00170-w
22. Lee E.C., Arab A., Goldlust S.M., Viboud C., Grenfell B.T., Bansal S. Deploying digital health data to optimize influenza surveillance at national and local scales. *PLoS Comput. Biol.*, 2018, vol. 14, no. 3, pp. e1006020. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1006020
23. Lee E.C., Arab A., Colizza V., Bansal S. Spatial aggregation choice in the era of digital and administrative surveillance data. *PLOS Digit. Health*, 2022, vol. 1, no. 6, pp. e0000039. DOI: 10.1371/journal.pdig.0000039

24. Ilyicheva T.N., Netesov S.V., Gureyev V.N. COVID-19, influenza, and other acute respiratory viral infections: etiology, immunopathogenesis, diagnosis, and treatment. Part I. COVID-19 and influenza. *Molekulyarnaya genetika, mikrobiologiya i virusologiya*, 2022, vol. 40, no. 1, pp. 3–11. DOI: 10.17116/molgen2022400113 (in Russian).

25. Fan J., Du H., Wang Y., He X. The Effect of Local and Global Interventions on Epidemic Spreading. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, no. 23, pp. 12627. DOI: 10.3390/ijerph182312627

26. Herriott L., Capel H.L., Ellmen I., Schofield N., Zhu J., Lambert B., Gavaghan D., Bouros I. [et al.]. EpiGeoPop: a tool for developing spatially accurate country-level epidemiological models. *Sci. Rep.*, 2025, vol. 15, no. 1, pp. 26663. DOI: 10.1038/s41598-025-11999-4

27. Popova A.Yu., Zaitseva N.V., Alekseev V.B., Letyushev A.N., Kiryanov D.A., Kleyn S.V., Kamaltdinov M.R., Glukhikh M.V. Heterogeneity of the modified SIR-model parameters of waves of COVID-19 epidemic process in the Russian Federation. *Gigiena i sanitariya*, 2023, vol. 102, no. 8, pp. 740–749. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-8-740-749 (in Russian).

28. Lowen A.C., Steel J. Roles of humidity and temperature in shaping influenza seasonality. *J. Virol.*, 2014, vol. 88, no. 14, pp. 7692–7695. DOI: 10.1128/JVI.03544-13

29. Lei H., Yang M., Dong Z., Hu K., Chen T., Yang L., Zhang N., Duan X. [et al.]. Indoor relative humidity shapes influenza seasonality in temperate and subtropical climates in China. *Int. J. Infect. Dis.*, 2023, vol. 126, pp. 54–63 DOI: 10.1016/j.ijid.2022.11.023

30. Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Kiryanov D.A., Glukhikh M.V. Social hygienic determinants of the occurrence of influenza and acute respiratory viral infection. *Gigiena i sanitariya*, 2025, vol. 104, no. 11, pp. 1399–1406. DOI: 10.47470/0016-9900-2025-104-11-1399-1406 (in Russian).

31. Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Alekseev V.B., Kiryanov D.A., Glukhikh M.V. Variability of parameters of the COVID-19 epidemic process due to influence of regional social-hygienic factors. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*, 2023, vol. 67, no. 6, pp. 510–518. DOI: 10.47470/0044-197X-2023-67-6-510-518 (in Russian).

Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Kiryanov D.A., Glukhikh M.V., Tsinker M.Yu., Svintsova P.D. Assessing risks of modified clinical course of respiratory diseases caused by environmental exposures and lifestyle factors considering regional specificity. *Health Risk Analysis*, 2026, no. 1, pp. 4–17. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.01.eng

Получена: 25.01.2026

Одобрена: 17.03.2026

Принята к публикации: 26.03.2026



Научная статья

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ДОСТАТОЧНОСТИ ВЗАИМОЗАЧЕТА И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ КВОТ ВЫБРОСОВ ХОЗЯЙСТВУЮЩИХ СУБЪЕКТОВ ПРИ ДОСТИЖЕНИИ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФЕДЕРАЛЬНОГО ПРОЕКТА «ЧИСТЫЙ ВОЗДУХ»

И.В. Май¹, С.Ю. Загороднов¹, С.Ю. Балашов¹, К.В. Четверкина¹,
А.А. Клячин¹, Ю.Е. Чижова²

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

²Сибирская Генерирующая компания, Российская Федерация, 115054, г. Москва, ул. Дубининская, 53, стр. 5

Актуальность исследования определена необходимостью выбора максимально эффективных и экономически целесообразных путей достижения предприятиями квот выбросов, снижения загрязнения атмосферы и реализации целевых показателей федерального проекта «Чистый воздух».

Осуществлена отработка на конкретном примере порядка оценки по гигиеническим критериям, включая критерии рисков для здоровья населения, возможности и достаточности перераспределения и взаимозачета квот выбросов источников на территории промышленного города.

Объект исследования – крупные теплоэлектростанции (ТЭЦ), расположенные в промышленном городе, предполагающие в зачет квот учесть выбросы 28 ликвидируемых малоэффективных угольных котельных. При этом ТЭЦ планируют модернизацию собственных объектов с увеличением энергетических мощностей. Выполнены расчеты рассеивания выбросов более чем от 6 тыс. источников в целом по городу на условия загрязнения атмосферного воздуха в базовом, 2017 г., а также на условия достижения квот с учетом предлагаемых предприятием перераспределений квот по источникам и ликвидации малоэффективных угольных котельных, мощности которых переносятся на объекты крупных теплоэлектроцентралей.

Установлено, что загрязнение атмосферного воздуха на базовый 2017 г. в городе имеет следствием формирование неприемлемого канцерогенного и неканцерогенного острого и хронического рисков для здоровья населения. Риск характеризуется в разных контрольных точках города как «настораживающий» и / или «высокий». Вклад крупных объектов энергетики и потенциально ликвидируемых котельных в неприемлемый канцерогенный риск достигает в отдельных зонах 8,4 %. При достижении установленных квот перераспределенных квот целевой показатель проекта – снижение выбросов приоритетных веществ не менее чем на 20 % – достигнут. Полностью устранено влияние котельных, диффузно расположенных на территории города (7,6 % от достигнутого сокращения). ТЭЦ за счет собственных мероприятий снизили выбросы на 12,6 % от уровня 2017 г. В результате достижения квот выбросов объекты не формируют превышений гигиенических нормативов и неприемлемого риска для здоровья. При этом отмечено пространственное изменение полей концентраций. Выявлен факт роста вклада объекта в точке неприемлемого риска, в основном формируемого иными источниками загрязнения города.

© Май И.В., Загороднов С.Ю., Балашов С.Ю., Четверкина К.В., Клячин А.А., Чижова Ю.Е., 2026

Май Ирина Владиславовна – доктор биологических наук, профессор, научный советник (e-mail: may@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>).

Загороднов Сергей Юрьевич – кандидат технических наук, руководитель экспертной группы лаборатории методов комплексного санитарно-гигиенического мониторинга (e-mail: zagorodnov@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6357-1949>).

Балашов Станислав Юрьевич – старший научный сотрудник – руководитель ГИС-группы лаборатории методов санитарно-гигиенического мониторинга (e-mail: stas@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6923-0539>).

Четверкина Кристина Владимировна – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник – исполняющий обязанности заведующего отделом системных методов социально-гигиенического анализа и мониторинга (e-mail: chetverkina@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1548-228X>).

Клячин Алексей Александрович – научный сотрудник отдела системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга (e-mail: klyachin@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4284-4415>).

Чижова Юлия Евгеньевна – заместитель технического директора по охране окружающей среды (e-mail: ChizhovaYuE@sibgenco.ru; тел.: 8 (495) 258-83-00 (доб. 13286)).

Взаимозачет и перераспределение квот выбросов между источниками загрязнения на территории одного поселения представляется целесообразным и эффективным инструментом достижения гигиенических нормативов качества воздуха и приемлемых рисков для здоровья населения. Порядок взаимозачета и перераспределения квот выбросов между источниками загрязнения требует выработки и закрепления нормативно-правовыми и методическими документами. Решение о взаимозачете и перераспределении квот может и должно приниматься после выполнения гигиенических оценок, включая оценку рисков здоровью.

Оптимальным представляется сопряжение расчетных и натуральных данных при выполнении верификации перераспределения квот с акцентом на учет данных инструментальных измерений, выполняемых системами экологического и социально-гигиенического мониторинга.

Ключевые слова: федеральный проект «Чистый воздух», выбросы, квоты, порядок взаимозачета.

31 декабря 2026 г. завершается участие в федеральном проекте «Чистый воздух» национального проекта «Экология»¹ (с 2025 г. федеральный проект «Экологическое благополучие») 12 городов «первой волны». В проект в 2019 г. были включены города Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец, Чита, поскольку характеризовались высоким (индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) – от 7 до 13, стандартный индекс (СИ) – от 5 до 10) или очень высоким (ИЗА \geq 14, СИ $>$ 10) уровнем загрязнения атмосферы². Проект должен завершиться для указанных городов снижением массы выбросов опасных (приоритетных) загрязняющих веществ не менее чем на 20 % от уровня 2017 г.

Целевые показатели улучшения качества жизни и минимизации негативного влияния загрязнений на состояние здоровья населения в паспорте проекта напрямую не сформулированы. Вместе с тем, несомненно, идея сохранения здоровья людей и снижения медико-демографических потерь заложена в проект, поскольку он создан в рамках стратегических векторов развития страны, заданных высшими органами власти страны. К таким векторам относятся увеличение продолжительности жизни россиян и улучшение их здоровья [1, 2]. Именно поэтому в рамках проекта в перечень критериев выбора приоритетных загрязняющих веществ включены критерии риска для здоровья населения³, а среди контрольных точек реализации проекта – оценка влияния снижения выбросов на здоровье населения⁴.

Достижение установленных федеральным проектом целей по снижению выбросов обеспечивается

директивным установлением «квот» (допустимых выбросов) для объектов, которые по данным расчетов вносят на территории города вклады в превышение гигиенических нормативов качества воздуха и / или формируют неприемлемые риски для здоровья населения.

В ряде городов, прежде всего, городов, расположенных в Сибирском федеральном округе, объекты энергетики подлежат обязательному квотированию. Причина – значительные массы выбросов при использовании угля как основного топлива и исторически сложившаяся структура энергообеспечения населения и промышленности: одна или несколько крупных теплоэлектростанций и значительное число небольших твердотопливных котельных и автономных источников теплоснабжения, диффузно расположенных на всей территории городов. Применение угля как топлива связывается с загрязнением атмосферного воздуха оксидом углерода, оксидами азота, диоксидом серы, бенз(а)пиреном, твердыми частицами, в том числе золой и черным углеродом [3–6]. Выбросы данных веществ в основном характерны для частного сектора с печным отоплением на угле, автотранспорта, объектов промышленности и энергетики. В городах, где уголь (пылеугольное топливо) применяется как основной вид топлива, систематически фиксируются превышения стандартов качества воздуха именно по данным примесям. Так, более 10 ПДК_{сс} по бенз(а)пирену было зафиксировано в 2024 г. в Абакане, Братске, Кемерово, Красноярске, Чите, Шелехове⁵. Ряд исследований свидетельствует о наличии в составе пылевых частиц выбросов авто-

¹ Паспорт национального проекта «Экология» / утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16 // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – 2023.

² Об утверждении методики определения высокого и очень высокого загрязнения атмосферного воздуха: Приказ Минприроды России от 17.02.2022 № 106 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_410604/ (дата обращения: 01.02.2026).

³ О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха: Федеральный закон от 26.07.2019 № 195-ФЗ [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – Статья 5. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_329955 (дата обращения: 09.02.2026).

⁴ П. 2.2 Приложения № 1 к паспорту Федерального проекта «Чистый воздух» РФ по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24.12.2018 № 16) // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

⁵ О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 г.: Государственный доклад [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – URL: <https://gosdoklad.mnr.gov.ru/> (дата обращения: 09.02.2026).

номных источников теплоснабжения, малоэффективных угольных котельных, угольных теплоэлектростанций и т.п. тяжелых металлов, которые оказывают негативное влияние на здоровье человека [7–9]. В целом «угольная энергетика» рассматривается как деятельность, сопряженная с существенным воздействием на среду обитания и риски для здоровья населения [10, 11]. При этом крупные объекты энергетики, применяющие современные технологии и оборудованные высокими дымовыми трубами, ориентированы на минимизацию вклада в приземные концентрации, а также ищут максимально эффективные и экономически целесообразные пути соблюдения квот, снижения загрязнения атмосферы в рамках проекта «Чистый воздух» – достижения целевых показателей проекта [12–15].

Одним из путей является возможность «взаимозачета квот» между юридическими лицами, выбросы которых подлежат нормированию. Механизм взаимозачета квот выбросов в мировой практике применяется давно и довольно успешно, прежде всего, в области ограничений выбросов парниковых газов [16, 17]. Ключевая идея – возможность сохранения или даже увеличения выбросов конкретного хозяйствующего субъекта при компенсирующем снижении выбросов на другом или нескольких других объектах [18]. Хотя ни Федеральный закон 195-ФЗ, ни «Правила квотирования...»⁶ не содержат алгоритма и порядка взаимозачета квот, данный инструмент принят в практике федерального проекта «Чистый воздух». При этом представляется, что без учета взаиморасположения объектов, анализа их размещения относительно жилой застройки или иных нормируемых объектов, без рассмотрения орографических особенностей распространения примесей и фонового загрязнения, которое создается иными объектами, перераспределение выбросов, которое осуществляется в тоннах/год (т/год), не гарантирует безопасного качества воздуха и приемлемых рисков для здоровья населения.

Вместе с тем возможности, перспективы и выгоды взаимозачета квот очевидны и требуют правового и методического закрепления. Параллельно требует решения задача по возможности перераспределения квот выбросов между источниками одного хозяйствующего субъекта, в том числе расположенных на разных производственных площадках.

Для объектов энергетики, особенно твердотопливной, указанные проблемы крайне актуальны, тем более, что в городах второй волны, включенных в проект в 2023 г., расположено 30 крупных энергетических объектов, 17 из которых – угольные. Соответственно, задачи корректного, обоснованного с технологической и санитарно-гигиенической точки зрения установления квот выбросов с возможностью

их гибкого перераспределения, требуют четкого порядка и методической поддержки.

Ситуация определила **цель исследования** – отработка на конкретном примере порядка оценки по гигиеническим критериям, включая критерии рисков для здоровья населения, возможности и достаточности перераспределения установленных квот выбросов.

Материалы и методы. Для отработки подходов были выбраны объекты энергетики, расположенные в крупном промышленном центре. В рамках мероприятий федерального проекта «Чистый воздух» предусмотрен перевод мощностей небольших малоэффективных котельных на крупные теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) с ликвидацией источников выбросов и возможностью учета предотвращенных выбросов в счет квот для ТЭЦ. При этом технологические особенности увеличения мощностей объектов предполагали и перераспределения квот между источниками самого объединения.

В ходе исследования были рассмотрены три сценария и использованы, соответственно, три сводные базы данных источников выбросов:

а) на уровень 2017 г. до реализации мероприятий по взаимозачету и замещению источников;

б) на условия достижения квот выбросов, директивно установленных для ТЭЦ уполномоченным органом при ликвидации малоэффективных угольных котельных;

в) на условия достижения квот с учетом предлагаемых предприятием перераспределений квот по источникам ТЭЦ при ликвидации малоэффективных угольных котельных, мощности которых переносятся на объекты генерирующей компании (далее объекты ТЭЦ и ликвидируемые котельные обозначаем как «Объекты оценки»).

Все расчеты выполнены на условия, что изменение выбросов квотируемых объектов происходит при неизменном функционировании всех прочих источников загрязнения атмосферы города. Учтены выбросы источников 807 промышленных предприятий города, 263 участков улично-дорожной сети города, более 13 тысяч печей частного сектора, работающих на угле или дровах.

Оценку приземных концентраций примесей в воздухе выполняли с использованием унифицированной программы загрязнения атмосферы (УПРЗА) «Эколог-Город» 4.70 с блоком расчета «Средние», реализующей методику НИИ атмосферы и ГГО им. Воейкова МРР-2017 «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе», утвержденную приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273.

Рассчитывали все показатели в 43 контрольных точках, выбранных уполномоченным органом для задач квотирования и расположенных достаточно рав-

⁶ Об утверждении правил квотирования выбросов загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух: Приказ Минприроды России от 29.11.2019 № 814 (ред. от 28.04.2023) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_341488/ (дата обращения: 09.02.2026).

номерно по селитебной части городской застройки. Дополнительно для задач пространственного анализа выполняли расчеты по регулярной сетке, охватывающей всю территорию города (30 000 м × 20 000 м). Шаг сетки – 200 м.

Определение и анализ вклада выбросов в общее загрязнение атмосферного воздуха города выполняли по результатам рассеивания загрязняющих веществ. Оценку вклада в максимальный разовый и среднегодовой уровни загрязнения проводили для каждой приоритетной примеси, выбрасываемой объектами оценки⁷ по формуле (1):

$$\Delta_P^{ingr} = \left(\frac{C_P^{ingr}(x, y)}{\sum_{P \in \mathfrak{R}} C_P^{ingr}} \right) \cdot 100, \quad (1)$$

где Δ_P^{ingr} – долевой вклад объектов оценки по веществу *ingr* в точке (x, y) квотирования, %;

$C_P^{ingr}(x, y)$ – суммарная концентрация источников объектов оценки по веществу *ingr* в точке (x, y) в долях ПДК_{мр} или мг/м³;

$\sum_{P \in \mathfrak{R}} C_P^{ingr}$ – суммарная концентрация всех источников по веществу *ingr* в точке в долях ПДК_{мр} или мг/м³;

\mathfrak{R} – множество источников, участвующих в расчете.

Оценку риска здоровью населения, обусловленного химическим загрязнением атмосферного воздуха, выполняли в соответствии с положениями Руководства Р 2.1.10.3968-23⁸. В исследование включены все вещества, содержащиеся в выбросах источников загрязнения атмосферного воздуха города, для которых в Р 2.1.10.3968-23 установлены параметры для оценки канцерогенного и неканцерогенного (острого и хронического) риска здоровью: факторы канцерогенного потенциала, референтные уровни и соответствующие им критические органы и системы при ингаляционном воздействии. Коэффициент тяжести злокачественных новообразований (*g*) принимали равным единице.

Расчет вклада выбросов объектов оценки в формирование риска здоровью в контрольных точках устанавливали по формуле (2):

$$\Delta_{\text{ТТК}}(x, y) = \left(\frac{R_{\text{ТТК}}(x, y)}{R_{\text{ТТК}}(x, y) + R_{\text{фон}}(x, y)} \right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $\Delta_{\text{ТТК}}(x, y)$ – вклад выбросов объектов оценки в уровень риска здоровью в расчетной точке с координатами (x, y), %;

$R_{\text{ТТК}}(x, y)$ – уровень риска здоровью, формируемый выбросами объектов оценки в расчетной точке с координатами (x, y);

$R_{\text{фон}}(x, y)$ – уровень риска здоровью, обусловленный только фоновым загрязнением (без учета выбросов объектов оценки) в расчетной точке с координатами (x, y).

Критериями приемлемости неканцерогенного риска являлись: при воздействии отдельного химического вещества – коэффициент опасности ($HQ = 1,0$); для суммы однонаправленно действующих химических веществ – индекс опасности ($HI = 3,0$), для канцерогенного риска $R_{cr} = 1E-04$.

Критерий допустимого (приемлемого) уровня индекса опасности $HI \leq 3,0$ применяли только в случае, если при суммарной оценке воздействия веществ с однонаправленным действием ни одно из веществ не имело коэффициента опасности HQ выше 1,0. При несоблюдении данного условия оценку проводили по веществу с максимальным значением HQ (пп. 2 п. 6.6.1 Р 2.1.10.3968-23).

Риски оценивали при кратковременном воздействии (острый риск оценивали при наибольшем 20-минутном загрязнении в точке) и при хроническом воздействии (под хроническим воздействием понимали среднегодовую расчетную концентрацию в точке).

Результаты и их обсуждение. Основные результаты. Установлено, что объекты оценки выбрасывают в атмосферный воздух 13 приоритетных (т.е. подлежащих квотированию) загрязняющих веществ: марганец и его соединения, натрия гидроксид, никеля оксид, азота диоксид, азота оксид, углерод (пигмент черный), серы диоксид, фториды газообразные, бензол, бенз(а)пирен, взвешенные вещества, пыль неорганическая: 70–20 % SiO₂, пыль неорганическая: до 20 % SiO₂⁹.

На 2017 г. (базовый год) выбросы загрязняющих веществ от источников ТЭЦ составили порядка 38,9 тыс. т/год. Установленная директивно квота для предприятия составила 31,2 тыс. т/год.

На условия базового 2017 г. объекты оценки (ТЭЦ и потенциально ликвидируемые котельные) вносили значимый вклад в кратковременное загрязнение воздуха практически по всем квотируемым веществам за исключением гидроксида натрия. Вклады колебались от незначительных (порядка

⁷ Здесь и далее «Объекты оценки» – объекты ТЭЦ и 28 котельных, участвующих во взаимозачете квот.

⁸ Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания / утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Поповой А.Ю. 06 сентября 2023 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1304711431> (дата обращения: 07.02.2026).

⁹ Об определении приоритетных загрязняющих веществ для территорий эксперимента: Письмо руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 11.12.2020 № 02/25401-2020-23.

0,2 % по взвешенным веществам, фтористым соединениям) до определяющих (около 91 % по углероду (пигмент черный), пыли неорганической с содержанием SiO₂ 20–70 %) (табл. 1).

Собственно источники объектов оценки формируют нарушения ПДК_{мр} по углероду (пигмент черный) – 1,5 ПДК_{мр} и пыли неорганической: 70–20 % SiO₂ – 5,4 ПДК_{мр}. Максимальные разовые концентрации остальных приоритетных веществ, создаваемые источниками объектов оценки, не превышают ПДК_{мр}, однако вклад источников достигает 40 % по оксидам азота, почти 60 % по диоксиду серы, 70 % по неорганической пыли с содержанием до 20 % SiO₂.

По расчетным данным среднегодовых уровней выше ПДК_{ср} / ПДК_{ср} источники объектов оценки не

формируют, однако их вклад в превышения гигиенических нормативов по азота диоксиду достигает в отдельных точках 13,6 %, по бенз(а)пирену – 26 % (табл. 2).

Разовые уровни загрязнения территории города на базовый 2017 г. формировали по расчетным данным неприемлемый риск нарушения функций органов дыхания (до 1,1 *HQ* по диоксиду азота, риск характеризуется как настораживающий), крови, репродуктивной системы (до 2,9 *HQ* по бензолу, риск настораживающий), процессов развития и иммунной системы (до 3,95 *HQ* по соединениям никеля, риск высокий). Вклад источников объектов оценки в неприемлемые риски – от менее 0,1 до 61 % в отдельных точках селитебной территории.

Таблица 1

Максимальные разовые приземные концентрации приоритетных (квотируемых) загрязняющих веществ на уровень 2017 г.

Химическое вещество*	От всех источников, доли ПДК _{мр}			Источники объектов оценки, доли ПДК _{мр}			Источники объектов оценки, вклад в общее загрязнение**, %			
	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	в точке максимума
Марганец и его соединения	0,01	0,03	0,16	<0,01	0,01	0,02	1,2	10,7	51,6	2,4
Натрия гидроксид **	0,01	0,08	0,48	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Азота диоксид	0,88	1,91	3,53	0,14	0,26	0,59	4,6	15,1	40,0	6,16
Азота (II) оксид	0,08	0,19	0,31	0,02	0,04	0,08	10,2	24,7	39,8	14,0
Углерод	0,23	0,47	1,61	0,10	0,30	1,48	19,8	60,9	91,9	91,9
Серы диоксид	0,24	0,46	1,04	0,09	0,18	0,32	17,7	41,3	59,5	17,6
Фториды газообразные	0,10	0,35	1,39	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,5	4,2	0,04
Бензол	0,01	0,07	0,45	нпо	0,01	0,14	0,4	16,6	60,8	0,46
Взвешенные вещества	0,02	0,08	0,30	<0,01	<0,01	0,01	0,2	2,1	15,6	0,91
Пыль неорганическая 70–20 % SiO ₂	0,42	1,02	5,91	0,13	0,43	5,40	11,0	39,8	91,5	91,5
Пыль неорганическая до 20 % SiO ₂	0,03	0,23	1,30	нпо	0,03	0,19	2,0	13,5	70,0	14,4

Примечание: * – никеля оксид и бенз(а)пирен не нормируются по ПДК_{мр}; ** – в долях ОБУВ; *** – точки максимумов в целом по городу и от источников объектов оценки могут не совпадать; НПО – ниже предела обнаружения.

Таблица 2

Среднегодовые приземные концентрации приоритетных (квотируемых) загрязняющих веществ на уровень 2017 г. доли ПДК_{ср} / ПДК_{ср}

Химическое вещество*	На уровень 2017 г., доли ПДК _{ср} / ПДК _{ср}			Источники объектов оценки, доли ПДК _{ср} / ПДК _{ср}			Источники объектов оценки, вклад в общее загрязнение, %			
	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	в точке максимума
Марганец и его соединения	0,04	0,22	0,93	< 0,001	0,00	0,01	0,1	0,8	4,3	0,14
Никеля и его соединения	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Азота диоксид	0,23	0,92	1,92	0,01	0,03	0,14	1,4	4,1	13,6	1,36
Азота (II) оксид	0,03	0,11	0,22	0,00	0,01	0,06	2,7	9,6	33,3	2,73
Углерод	0,05	0,08	0,20	0,01	0,02	0,04	8,1	22,8	39,1	8,11
Серы диоксид	0,10	0,13	0,24	0,01	0,02	0,04	7,8	16,6	24,8	7,75
Фториды газообразные	< 0,01	0,02	0,16	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,1	0,2	2,0	< 0,1
Бензол	< 0,01	0,03	0,38	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,1	0,4	4,9	< 0,1
Бенз(а)пирен	0,03	0,24	1,93	< 0,01	0,01	0,03	0,2	4,9	26,0	0,19
Взвешенные вещества	0,01	0,02	0,08	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Пыль неорг. 70–20 % SiO ₂	0,03	0,05	0,17	< 0,01	0,01	0,01	2,4	14,3	24,1	2,35
Пыль неорганическая до 20 % SiO ₂	< 0,01	0,01	0,04	< 0,01	< 0,01	0,02	9,2	28,5	43,7	41

Примечание: * – натрия гидроксид не нормируется по ПДК_{ср} / ПДК_{ср}.

В условиях долгопериодного (годового) уровня загрязнения в отдельных зонах города зафиксированы уровни неприемлемого хронического неканцерогенного риска, который характеризовался как «настораживающий» в отношении болезней органов дыхания (факторы риска – азота диоксид, бенз(а)пирен, соединения никеля), крови (факторы риска – азота диоксид, бензол), процессов развития (бенз(а)пирен). Вклад источников объектов оценки, включая потенциально ликвидируемые котельные в различных точках города, составлял от 0,3 до 26 %.

В целом ситуация на базовый 2017 год подтверждала необходимость принятия мер по улучшению качества воздуха, в том числе ТЭЦ и хозяйствующими субъектами – владельцами рассмотренных котельных.

Планами по снижению выбросов загрязняющих веществ на ТЭЦ предусмотрены: установка электрофильтров на ряде котлоагрегатов, комплексная замена теплофикационных паровых турбин, изменение параметров источников выбросов с увеличением высоты подъема факела выброса. Параллельно модернизация одной из ТЭЦ предполагает создание новых генерирующих мощностей, замещающих мощности целого ряда малоэффективных угольных котельных с выводом последних из эксплуатации. Ликвидация 28 котельных обеспечит сокращения выбросов почти на 3 тыс. т ежегодно. Увеличение мощности ТЭЦ влечет за собой технологически обоснованное увеличение выбросов с 7,9 тыс. т (2017) до 10,9 тыс. т на год завершения всего комплекса мероприятий. С учетом планируемых мероприятий и действий по повышению мощности предприятием были предложены собственные квоты на выбросы, которые несколько отличались от директивно установленных и максимально соответствовали техническим и технологическим возможностям объектов квотирования.

Совокупностью мероприятий целевой показатель проекта – снижение выбросов приоритетных

веществ не менее чем на 20 % – достигнут. Полностью устранено влияние котельных, диффузно расположенных на территории города (7,6 % от достигнутого сокращения). Источники ТЭЦ за счет собственных мероприятий снижают выбросы на 4,9 тыс. т (12,6 % от уровня 2017 г.).

Следует отметить, что баланс масс выбросов не в полной мере обеспечивает понимание ожидаемого изменения качества воздуха в городе. При общем сокращении выбросов изменяется их структура, меняются аэродинамические характеристики источников выбросов и их пространственное расположение относительно нормируемых территорий (прежде всего – жилой застройки). Претерпевают изменения метеорологические условия, при которых формируются максимальные концентрации и / или факелы отдельных источников накладываются друг на друга. Оценка результативности мероприятий по гигиеническим критериям, включая критерии риска здоровью, в таком случае представляется арбитражным и крайне важным элементом принятия решения о достаточности квот.

Результаты расчета приземных концентраций с учетом всех мероприятий по достижению квот показали, что в целом достигается снижение общего загрязнения атмосферы города.

Следует отметить, что при расчете приземных концентраций на условия перераспределенных квот выбросов среди источников ТЭЦ генерирующей компании получены аналогичные результаты, что и на директивно установленные квоты (расхождения были в пределах погрешности расчета). Это позволило в целом в дальнейшем оценивать мероприятия только по одному сценарию – на условия достижения установленных квот выбросов.

В табл. 3 отражена динамика изменения максимальных разовых приземных концентраций в контрольных точках от всех источников города при условии достижения источниками объектов оценки квот выбросов и ликвидации 28 котельных.

Таблица 3

Обобщенные данные о динамике изменения максимальных разовых концентраций в контрольных точках от всех источников города при условии достижения источниками объектов оценки директивных квот выбросов и ликвидации малоэффективных угольных котельных

Химическое вещество	Среднее по 43 точкам			Точки максимума		
	на 2017 г., ПДК _{мр}	на достижение квот, ПДК _{мр}	% изменения	на 2017 г., ПДК _{мр}	на достижение квот, ПДК _{мр}	% изменения
Марганец и его соединения	0,029	0,027	-6,9	0,162	0,159	-1,9
Натрия гидроксид	0,078	0,078	< 0,01	0,476	0,476	0,00
Азота диоксид	1,905	1,826	-3,7	3,530	3,498	-0,9
Азота оксид	0,186	0,162	-15,8	0,312	0,288	-6,5
Углерод	0,470	0,195	-57,5	1,611	0,806	-49,7
Серы диоксид	0,458	0,370	-19,6	1,044	0,955	-7,7
Фториды газообразные	0,353	0,353	0,00	1,390	1,392	< 0,01
Бензол	0,070	0,060	-14,3	0,450	0,449	< 0,01
Взвешенные вещества	0,075	0,078	-12,5	0,299	0,300	< 0,01
Пыль неорг. 70–20 % SiO ₂	1,019	0,640	-38,2	5,908	1,726	-70,7
Пыль неорг. до 20 % SiO ₂	0,231	0,248	+8,7	1,299	1,479	+13,1

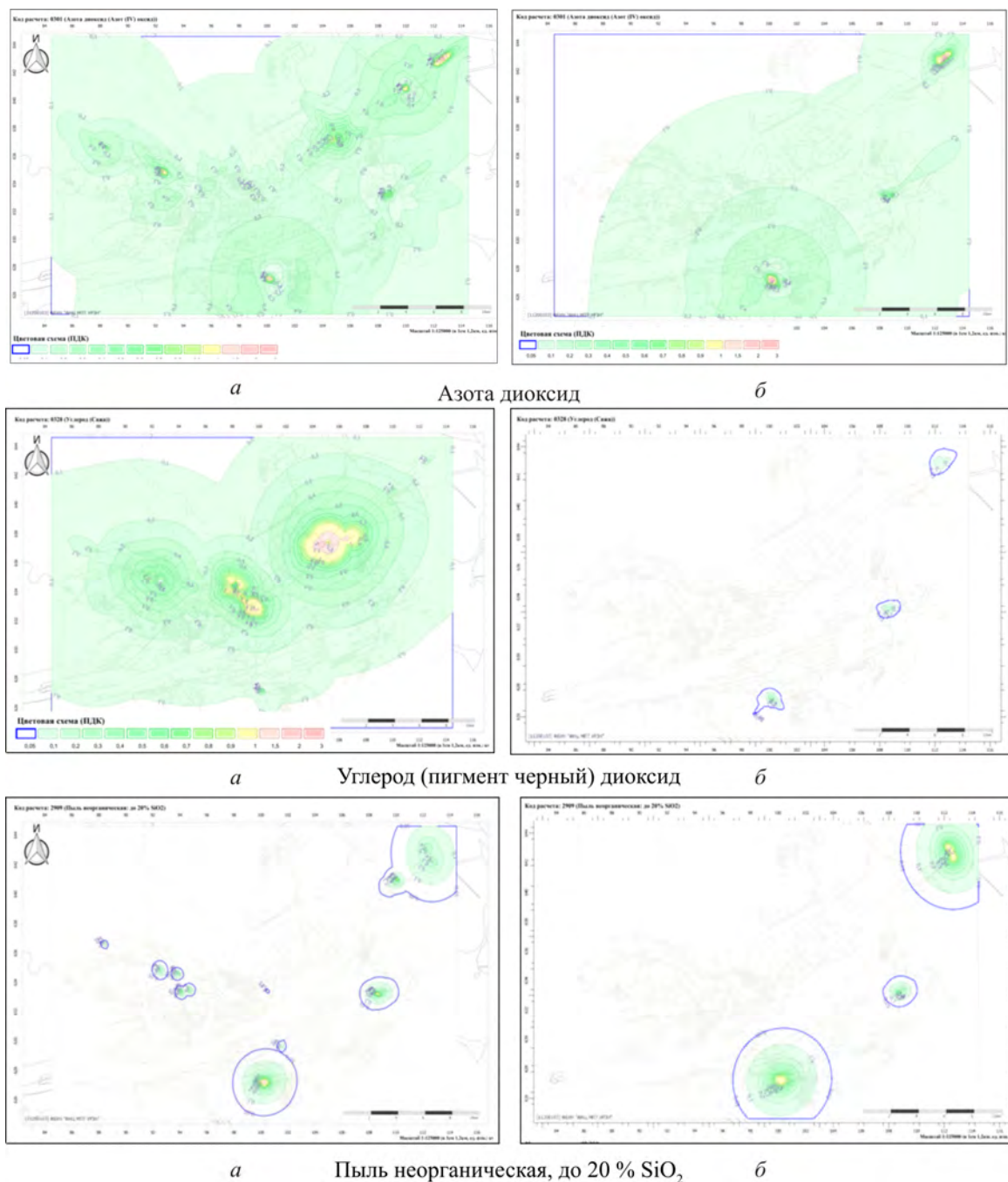


Рис. Поля максимальных разовых концентраций, формируемые источниками объектов оценки: *а*) на 2017 г.: *б*) на условия достижения квот. Фон не учитывается

Наибольшее снижение в целом по городу отмечено в отношении углерода – на 57,5 % в среднем по контрольным точкам, по пыли неорганической с содержанием 70–20 % SiO₂ – на 38 %. Превышение ПДК_{мр} по углероду и по пыли неорганической 20–70 % SiO₂ устранено. Снижаются разовые короткопериодные приземные концентрации по диоксиду серы, оксиду азота и иным химическим веществам. Сохраняется ситуация превышения ПДК_{мр} по пыли неорганической в отдельных точках, хотя максимальная концентрация снизилась очень значительно (более чем в три раза).

На рисунке показана пространственная динамика полей максимальных разовых концентраций диоксида азота, углерода и пыли неорганической, которые формируются источниками объектов оценки, включая угольные котельные, на 2017 г. и на условия достижения квот ТЭЦ после реализации всех запланированных мероприятий.

Представленные результаты свидетельствуют, что пространственная картина загрязнения атмосферного воздуха, формируемая рассматриваемыми источниками, существенно изменяется. По диоксиду азота поле загрязнения, снижаясь, смещается в южную часть

города. По пыли неорганической несколько увеличивается пятно загрязнения в зоне влияния одной из ТЭЦ. Концентрации пыли прирастают незначительно – в среднем по городу на 0,02 ПДК_{мр}, или 8,7 %.

Однако обращает на себя внимание, что в точках максимумов, в которых фоновое загрязнение уже формирует превышение гигиенических нормативов (на уровне 1,01–1,30 ПДК_{мр}), на момент достижения источники объектов оценки формируют наибольший прирост приземных концентраций – до 0,2 ПДК (приземные концентрации пыли от источников возрастают с 0,12–0,37 до 0,16–0,48 ПДК_{мр}).

Расчет долгопериодных (среднегодовых) приземных концентраций, создаваемых источниками объектов оценки, показал снижение по всем квотируемым веществам в диапазоне от 1 до 97 % (табл. 4).

Особенно ошутимое снижение ожидается по углероду и диоксиду серы (в среднем по контрольным точкам – 21,3 и 12,8 % соответственно).

Увеличение среднегодовых концентраций не прогнозируется ни по одному загрязняющему веществу из числа оцениваемых. Вместе с тем расчеты показывают, что прогнозируется сохранение среднегодовых концентраций диоксида серы и бенз(а)пирена на уровнях выше гигиенических нормативов. Вклад ТЭЦ в среднем по контрольным точкам в концентрации диоксида азота прогнозируется на уровне 1,13 % (максимум 5,4 %), по бенз(а)пирену – 0,13 % (максимум 0,4 %), это свидетельствует, что значимые концентрации данных веществ формируются иными источниками города.

Канцерогенный риск фактически остается на уровне 2017 г., хотя доля источников объектов оценки снижается, прежде всего вследствие сокращения выбросов углерода. Наибольший уровень суммарного индивидуального канцерогенного риска в городе по данным расчетов рассеивания зафиксирован на уровне 1,67E-04, что соответствует категории «настораживающий риск». Вклад источников объектов оценки в точке максимума оценивается на уровне 0,25 %. В целом по городу канцерогенный риск, формируемый источниками на условия достижения квот, характеризуется как минимальный.

мируемый источниками на условия достижения квот, характеризуется как минимальный.

Вклад источников объектов оценки в острый неканцерогенный риск после достижения квот также невелик, характеризуется как минимальный. В нескольких контрольных точках, где острый неканцерогенный риск достигает уровней «настораживающий» или «высокий», вклад источников объектов оценки находится в диапазоне от 0,1 до 5 %.

По результатам оценки хронического неканцерогенного риска здоровью населения города установлено, что в 17 (из 43) контрольных точках жилой застройки формируются настораживающие уровни риска (от 1,12 до 2,51HQ_{ch}). Веществами, определяющими данные уровни риска, являются: азота диоксид – до 1,90HQ_{ch}, никеля оксид – до 2,51HQ_{ch}, бенз(а)пирен – до 1,93HQ_{ch}, которые оказывают неблагоприятное действие на формирование нарушений со стороны органов дыхания, системы крови и процессов развития. Уровни хронического неканцерогенного риска, формируемого выбросами объектов оценки, не превышают минимальных значений – до 0,01HQ_{ch}. Вклад источников на условия достижения установленных и перераспределенных квот выбросов в уровень хронического неканцерогенного риска во всех контрольных точках не превышает 0,9 %.

Обсуждение. Оценка возможности зачета и перераспределения квот выбросов на конкретном примере показала целесообразность и результативность такого инструментария.

Вместе с тем, очевидно, что перераспределение квот на уровне масс выбросов (т/год) не является гарантией достижения требуемого качества атмосферного воздуха и приемлемого уровня безопасности населения. Высока зависимость результативности перераспределения квот от пространственного расположения источников, по которым производится взаимозачет, от параметров выбросов, высоты подъема факелов, расстояния источников до жилой застройки и / или иных нормируемых городских территорий.

Таблица 4

Среднегодовые концентрации, формируемые в целом всеми источниками города на условия достижения ТЭЦ квот выбросов и ликвидации 28 угольных котельных в сопоставлении с базовым уровнем

Химическое вещество	На уровень 2017 г., доли ПДК _{гр} / ПДК _{сс}			На момент достижения ТЭЦ квот выбросов, доли ПДК _{гр} / ПДК _{сс}			Среднее снижение загрязнения за счет снижения выбросов ТЭЦ, % средн. по 43 точкам
	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	
Марганец и его соединения	0,044	0,217	0,928	0,044	0,218	0,927	0,00
Никель и его соединения	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Азота диоксид	0,227	0,916	1,920	0,214	0,894	1,900	2,40
Азота (II) оксид	0,030	0,113	0,215	0,026	0,105	0,210	7,08
Углерод	0,045	0,080	0,202	0,036	0,063	0,187	21,25
Серы диоксид	0,096	0,133	0,235	0,080	0,116	0,218	12,78
Фториды газообразные	0,002	0,019	0,160	0,002	0,019	0,160	0,00
Бензол	0,003	0,027	0,383	0,003	0,027	0,383	0,00
Бенз(а)пирен	0,030	0,236	1,933	0,030	0,230	1,929	2,54
Взвешенные вещества	0,007	0,017	0,084	0,007	0,017	0,084	0,00
Пыль неорг. 70–20 % SiO ₂	0,032	0,053	0,169	0,027	0,048	0,167	9,43
Пыль неорг. до 20 % SiO ₂	0,003	0,009	0,036	0,003	0,008	0,032	11,11

Перераспределение квот как между источниками разных хозяйствующих субъектов, так и между источниками одного юридического лица, особенно, если эти источники расположены в разных частях городской территории, изменяет пространственную картину загрязнения, равно как и картину формирования рисков для здоровья экспонированного населения. В условиях высокого фонового загрязнения (т.е. влияния прочих источников, кроме тех, по которым производится взаимозачет квот) последствия перераспределения квот могут существенно отличаться от ожидаемых.

Рассмотренный в настоящем исследовании вариант зачета квот в конкретном случае представляет собой эффективную систему мер, поскольку относительно мелких котельных объекты централизованного теплоснабжения обладают наименьшими удельными выбросами на единицу вырабатываемой энергии, а также оптимальными параметрами источников для осуществления рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере.

Таким образом, корректность и эффективность принимаемых решений по перераспределению квот в обязательном порядке должны быть верифицированы результатами расчетов рассеивания, гигиеническими оценками, включая оценку рисков для здоровья. Представляется целесообразным кроме расчетов ориентироваться и на результаты инструментальных исследований, на данные систем экологического и социально-гигиенического мониторинга. Основная причина такой рекомендации – выявляемые несоответствия между данными расчетов и результатами натурных наблюдений, что особенно важно, когда по данным натурных исследований загрязнение фиксируется на значительно более высоком уровне, чем по данным расчетов. На такие несоответствия указывают многие исследователи, подчеркивая риски недооценки опасности загрязнений для здоровья граждан [19, 20].

Требует нормативно-правового закрепления порядок взаимодействия объектов, между которыми происходит взаимный зачет квот [21]. На текущий момент такой порядок отсутствует, что существенно тормозит применение инструментария. Между тем отечественный и зарубежный опыт зачета квот выбросов существует и может быть взят в качестве базового [16, 22, 23].

Методически представляется целесообразным следующий пошаговый алгоритм:

– поиск на территории города источников, по которым может быть осуществлен обмен и / или взаимозачет квот;

– выполнение верифицирующих расчетов, свидетельствующих, что изменение выбросов на объектах квотирования будет иметь следствием улучшение качества воздуха во всех контрольных точках на территории поселения;

– оформление правовых отношений между объектами перераспределения;

– утверждение перераспределенных квот выбросов и последующий контроль их достижения;

– сопряжение расчетных и натурных данных с последующими корректирующими действиями, обеспечивающими достижение реального, а не расчетного уровня безопасности атмосферного воздуха.

Выводы. Взаимозачет и перераспределение квот выбросов между источниками загрязнения на территории одного поселения представляется целесообразным и эффективным инструментом достижения гигиенических нормативов качества воздуха и приемлемых рисков для здоровья населения.

На текущий момент порядок взаимозачета и перераспределения квот выбросов между источниками загрязнения требует выработки и закрепления нормативно-правовыми и методическими документами.

В силу того что перераспределение квот выбросов может существенно изменять пространственную картину загрязнения на территории, решение о взаимозачете и перераспределении квот может и должно приниматься после выполнения гигиенических оценок, включая оценку рисков здоровью.

Оптимальным представляется сопряжение расчетных и натурных данных при выполнении верификации перераспределения квот с акцентом на учет данных инструментальных измерений, выполняемых системами экологического и социально-гигиенического мониторинга.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Шпакова Р.Н. Федеральный проект «Чистый воздух» как инструмент решения экологических проблем // В книге: Обзор реализации национальных проектов в Российской Федерации: целеполагание и достижение / В.И. Добросоцкий, Р.Н. Шпакова, Г.Н. Войникова, Ю.В. Гордина, Е.В. Болданова, М.О. Дзедобоев, Ю.А. Левин, А.Н. Ларионов [и др.]. – М.: ООО «Изд-во Магистр», 2022. – С. 25–53.
2. Федеральный проект «Чистый воздух»: новый уровень жизни / О.А. Марцынковский, О.В. Двинагина, А.А. Васькина, А.В. Романов // Стандарты и качество. – 2022. – № 3. – С. 93–95.
3. Оценка загрязнения атмосферного воздуха продуктами сгорания угля и мазута на примере квартальных котельных г. Улан-Удэ / О.Н. Чудинова, Т.В. Чередова, А.А. Бутакова, А.П. Беспрозванных // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2024. – Т. 32, № 2. – С. 184–197. DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-184-197
4. Mortality risk from United States coal electricity generation / L. Henneman, C. Choirat, I. Dedoussi, F. Dominici, J. Roberts, C. Zigler // Science. – 2023. – Vol. 382, № 6673. – P. 941–946. DOI: 10.1126/science.adf4915

5. Сравнительная гигиеническая оценка состава золы и пылевых фракций атмосферного воздуха в зоне влияния теплоэлектростанции для повышения точности оценки риска здоровью населения / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, А.М. Андришунас, С.Ю. Балашов // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2023. – Т. 31, № 12. – С. 37–45. DOI: 10.35627/2219-5238/2023-31-12-37-45
6. Риккер Ю.О., Кобылкин М.В., Батухтин А.Г. К вопросу экологической безопасности современных угольных ТЭС // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции: в 3 ч. / отв. ред. А.В. Шапиева. – 2018. – С. 131–136.
7. Assessment of the Enrichment of Heavy Metals in Coal and Its Combustion Residues / A. Altikulaç, Ş. Turhan, A. Kurnaz, E. Gören, C. Duran, A. Hançerlioğulları, F.A. Uğur // ACS Omega. – 2022. – Vol. 7, № 24. – P. 21239–21245. DOI: 10.1021/acsomega.2c02308
8. Smółka-Danielowska D. Heavy Metals in Fly Ash from a Coal-Fired Power Station in Poland // Polish J. of Environ. Stud. – 2006. – Vol. 15, № 6. – P. 943–946.
9. Особенности накопления и распределения тяжелых металлов в почвах и лекарственных растениях импактной зоны Новочеркасской ГРЭС / В.А. Чаплыгин, М.В. Бурачевская, Т.М. Минкина, С.С. Манджиева, Т.И. Сиромля, Н.П. Черникова, Т.С. Дудникова // Почвоведение. – 2024. – № 10. – С. 1424–1438. DOI: 10.31857/S0032180X24100116
10. Зинин К.В. Влияние ТЭС на окружающую среду // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2024. – № 1. – С. 890–892.
11. Пискунов Ю.Г. Воздействие на окружающую среду угольной энергетики // Научные труды SWorld. – 2013. – Т. 43, № 3. – С. 24–27.
12. Земнухова Е.А. Направления газификации регионов Сибири как ключевое направление улучшения экологической обстановки в регионе // Интерэкспо Гео-Сибирь: XIV Международный научный конгресс. – Новосибирск, 2018. – Т. 2. – С. 216–221. DOI: 10.18303/2618-981X-2018-2-216-221
13. Enhancing Efficiency in Coal-Fired Boilers Using a New Predictive Control Method for Key Parameters / Q. Li, L. Yu, T. Liu, L. Li, Y. Lin, T. Wang, C. Yang, L. Wang [et al.] // Sensors (Basel). – 2026. – Vol. 26, № 1. – P. 330. DOI: 10.3390/s26010330
14. Перевод котельных центральной экологической зоны байкальской природной территории на газ: предпосылки, эффекты, барьеры / Б.Г. Санеев, И.Ю. Иванова, Е.П. Майсюк, А.К. Ижбулдин, Т.Ф. Тугузова // География и природные ресурсы. – 2016. – № S6. – С. 27–31. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2016-6 (27-31)
15. Рогов В.Ю. Экологизированное использование ресурсов сернистых углей иркутского бассейна как фактор эволюции теплоэнергетики регион // iPolytech Journal. – 2024. – Т. 28, № 4. – С. 573–582. DOI: 10.21285/1814-3520-2024-4-573-582
16. Попова И.М. Место систем торговли квотами на выбросы в современной инструментарию политики низкоуглеродного развития // Вестник международных организаций. – 2022. – Т. 17, № 4. – С. 62–94. DOI: 10.17323/1996-7845-2022-04-03
17. Буквич Р. Рыночные механизмы сокращения выбросов парниковых газов, активности и перспективы России // Вестник НГИЭИ. – 2015. – № 9 (52). – С. 23–38.
18. Радишаускас Т.А. Система торговли квотами как один из методов совершенствования системы природоохранной деятельности в России // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 4–1 (46). – С. 81–83. DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.120
19. Совершенствование подходов к характеристике экспозиции атмосферных загрязнений для оценки риска здоровью населения при реализации федерального проекта «Чистый воздух» / С.В. Кузьмин, С.Л. Авалиани, Н.С. Додина, Т.А. Шашина, В.А. Кислицин // СЫСИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021: материалы II Национального конгресса с международным участием по экологии человека, гигиене и медицине окружающей среды. – Москва, 2021. – С. 259–263.
20. Клейн С.В., Попова Е.В. Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха г. Читы – приоритетной территории федерального проекта «Чистый воздух» // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2020. – Т. 333, № 12. – С. 16–22. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-16-22
21. Голубь Н.В. Взаимозачет квот выбросов между юридическими лицами, участвующими в эксперименте по квотированию (на примере организаций ТЭК) // Правовой энергетический форум. – 2023. – № 1. – С. 67–76. DOI: 10.18254/S231243500024433-4
22. Perissi I., Jones A. An Emissions Offset Strategy to Accomplish 2 °C Long-Term Mitigation Goals in the European Union // Sustainability. – 2024. – Vol. 16, № 11. – P. 4783. DOI: 10.3390/su16114783
23. Matveenko A., Mikhailshchev S. Attentional Role of Quota Implementation // CERGE-EI Working Paper Series. – 2019. – № 645. DOI: 10.2139/ssrn.3500604

Методические подходы к оценке возможности и достаточности взаимозачета и перераспределения квот выбросов хозяйствующих субъектов при достижении целевых показателей федерального проекта «Чистый воздух» / И.В. Май, С.Ю. Загороднов, С.Ю. Балашов, К.В. Четверкина, А.А. Клячин, Ю.Е. Чижова // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 18–29. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.02



Research article

METHODICAL APPROACHES TO ESTIMATING POSSIBILITY AND SUFFICIENCY OF OFFSETTING AND REDISTRIBUTING EMISSION QUOTAS BETWEEN ECONOMIC ENTITIES WHEN ACHIEVING TARGETS OF THE CLEAN AIR FEDERAL PROJECT

I.V. May¹, S.Yu. Zagorodnov¹, S.Yu. Balashov¹, K.V. Chetverkina¹, A.A. Klyachin¹, Yu.E. Chizhova²

¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

²Siberian Generating Company LLC, 53 Dubininskaya Str. build. 5, Moscow, 115054, Russian Federation

Relevance of the present study comes from the necessity to choose the most effective and economically feasible ways to achieve emission quotas by enterprises, to reduce ambient air pollution and to fulfill performance indicators set within the Clean Air Federal Project.

The aim of this study was to test an estimation procedure per hygienic indicators using a specific example. The indicators included health risk levels, possibility and sufficiency of redistributing and offsetting emission quotas in a large industrial city.

The research object was represented by large heat power stations (HPS) located in a large industrial city. They suggested offsetting emission quotas by discounting emissions from 28 low-effective coal-fueled boiler houses, which were to be liquidated. HPS plan to modernize their own facilities to increase energy production capacity. We calculated dispersion of emissions from more than 6 thousand sources overall in the city under levels of ambient air pollution established in the baseline 2017 as well as under levels established after the required quotas were achieved. The latter calculation took into account the suggested quota redistribution per sources and liquidation of low-effective coal-fueled boiler houses with their capacities being moved to facilities belonging to large heat power stations.

Ambient air pollution was established to create unacceptable carcinogenic and non-carcinogenic acute and chronic health risks for the city population in the baseline 2017. The risk was assessed as 'alerting' and / or 'high' at various control points across the city. Contributions to unacceptable carcinogenic risks made by large energy-producing facilities and boiler houses to be liquidated reached 8.4 % in some areas in the city. The Project performance indicator, which is to reduce emissions of priority pollutants by not less than 20 %, is fulfilled after the set redistributed quotas have been achieved. Impacts of boiler houses, which were located diffusively across the city, have been eliminated completely (7.6 % of the achieved reduction). HPS have reduced their emissions by 12.6 % relative to 2017 due to relevant activities implemented at their facilities. When the required emission quotas are met, the analyzed facilities do not violate safe standards and do not create unacceptable health risks. In addition, spatial changes are observed in concentration fields. We have revealed a growth in a contribution made by a facility at the point of unacceptable health risks, mostly created by other pollution sources.

Offset and redistribution of emission quotas between pollution sources within one given settlement seems a feasible and effective instrument for achieving conformity with safe standards set for ambient air quality and acceptable health risk levels. The procedure for offsetting and redistributing quotas between pollution sources requires developing and fixing in regulatory, legal and methodical documents. A decision on quota offset and redistribution can be and should be made only after all relevant hygienic assessments have been completed, health risk assessment included.

It seems optimal to combine calculations and field data when verifying quota redistribution with the emphasis put on data obtained by instrumental measurements accomplished within environmental and social-hygienic monitoring.

Keywords: Clean Air Federal Project, emissions, quotas, offset procedure.

© May I.V., Zagorodnov S.Yu., Balashov S.Yu., Chetverkina K.V., Klyachin A.A., Chizhova Yu.E., 2026

Irina V. May – Doctor of Biological Sciences, Professor, Scientific Advisor (e-mail: may@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-25-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>).

Sergey Yu. Zagorodnov – Candidate of Technical Sciences, Head of the Expert Group, Laboratory of Comprehensive Sanitary and Hygienic Monitoring Methods (e-mail: zagorodnov@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6357-1949>).

Kristina V. Chetverkina – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher acting as a Head of the Department of System Methods of Socio-Hygienic Analysis and Monitoring (e-mail: chetverkina@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1548-228X>).

Stanislav Yu. Balashov – Senior Researcher – Head of the GIS Group at the Laboratory of Sanitary and Hygienic Monitoring Methods (e-mail: ama@fchisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6923-0539>).

Aleksei A. Klyachin – Researcher at the Department for Systemic Procedures of Sanitary-Hygienic Analysis and Monitoring (e-mail: klyachin@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4284-4415>).

Yuliya E. Chizhova – Environmental Director (e-mail: ChizhovaYuE@sibgenco.ru; tel.: +7 (495) 258-83-00 (ext. 13286)).

References

1. Shpakova R.N. Federal'nyi proekt «Chistyiy vozdukh» kak instrument resheniya ekologicheskikh problem [The "Clean Air" Federal Project as a Tool for Solving Ecological Problems]. In book: V.I. Dobrosotskii, R.N. Shpakova, G.N. Voinikova, Yu.V. Gordina, E.V. Boldanova, M.O. Dzeboev, Yu.A. Levin, A.N. Larionov [et al.]. *Obzor realizatsii natsional'nykh proektov v Rossiiskoi Federatsii: tselepolaganie i dostizhenie [Review of the Implementation of National Projects in the Russian Federation: Goal Setting and Achievement]*. Moscow, OOO «Izd-vo Magistr», 2022, pp. 25–53 (in Russian).
2. Martsynkovskii O.A., Dvinyanina O.V., Vas'kina A.A., Romanov A.V. Federal'nyi proekt "Chistyiy vozdukh": novyi uroven' zhizni ["Clean Air" Federal Project: A New Standard of Life]. *Standarty i kachestvo*, 2022, no. 3, pp. 93–95 (in Russian).
3. Chudinova O.N., Cheredova T.V., Butakova A.A., Besprozvannykh A.P. Assessment of atmospheric air pollution by coal and fuel oil combustion products and fuel oil on the example of neighborhood boiler plants in Ulan-Ude. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 2024, vol. 32, no. 2, pp. 184–197. DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-184-197
4. Henneman L., Choirat C., Dedoussi I., Dominici F., Roberts J., Zigler C. Mortality risk from United States coal electricity generation. *Science*, 2023, vol. 382, no. 6673, pp. 941–946. DOI: 10.1126/science.adf4915
5. Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Andrishunas A.M., Balashov S.Yu. Comparative Hygienic Assessment of the Composition of Ash and Dust Fractions in Ambient Air of the Area Affected by Emissions from a Thermal Power Station: Improving the Accuracy of Human Health Risk Assessment. *ZNiSO*, 2023, vol. 31, no. 12, pp. 37–45. DOI: 10.35627/2219-5238/2023-31-12-37-45 (in Russian).
6. Rikker Yu.O., Kobylkin M.V., Batukhtin A.G. K voprosu ekologicheskoi bezopasnosti sovremennykh ugol'nykh TES [On the Issue of Environmental Safety of Modern Coal-Fired Thermal Power Plants]. *Kulaginskie chteniya: tekhnika i tekhnologii proizvodstvennykh protsessov: sbornik materialov XVIII Mezhduнародnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 3 chastyakh [Kulagin Readings: Techniques and Technologies of Production Processes. XVIII International Scientific and Practical Conference: in 3 parts]*. In: A.V. Shapieva ed. 2018, pp. 131–136 (in Russian).
7. Altıkuş A., Turhan Ş., Kumaz A., Gören E., Duran C., Hancıoğlu A., Uğur F.A. Assessment of the Enrichment of Heavy Metals in Coal and Its Combustion Residues. *ACS Omega*, 2022, vol. 7, no. 24, pp. 21239–21245. DOI: 10.1021/acsomega.2c02308
8. Smółka-Danielowska D. Heavy Metals in Fly Ash from a Coal-Fired Power Station in Poland. *Polish J. of Environ. Stud.*, 2006, vol. 15, no. 6, pp. 943–946.
9. Chaplygin V.A., Burachevskaya M.V., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Siromlya T.I., Chernikova N.P., Dudnikova T.S. Features of the accumulation and distribution of heavy metals in soils and medicinal plants of the Novocherkassk Power Station impact zone. *Pochvovedenie*, 2024, no. 10, pp. 1424–1438. DOI: 10.31857/S0032180X24100068 (in Russian).
10. Zinin K.V. Vliyaniye TES na okruzhayushchuyu sredyu [Impact of Thermal Power Plants on the Environment]. *Nauchnomu progressu – tvorchestvo molodykh*, 2024, no. 1, pp. 890–892 (in Russian).
11. Piskunov Yu.G. Vozdeistvie na okruzhayushchuyu sredyu ugol'noi energetiki [Environmental Impact of Coal Energy]. *Nauchnye trudy SWorld*, 2013, vol. 43, no. 3, pp. 24–27 (in Russian).
12. Zemlukhova E.A. Directions of Gasification of Siberian Regions as a Key Direction for Improving the Environmental Situation in the Region. *Interespo Geo-Sibir': XIV Mezhduнародnyi nauchnyi kongress*, Novosibirsk, 2018, vol. 2, pp. 216–221. DOI: 10.18303/2618-981X-2018-2-216-221 (in Russian).
13. Li Q., Yu L., Liu T., Li L., Lin Y., Wang T., Yang C., Wang L. [et al.]. Enhancing Efficiency in Coal-Fired Boilers Using a New Predictive Control Method for Key Parameters. *Sensors (Basel)*, 2026, vol. 26, no. 1, pp. 330. DOI: 10.3390/s26010330
14. Saneev B.G., Ivanova I.Yu., Maysyuk E.P., Izhbuldin A.K., Tuguzova T.F. Conversion of Boiler-Houses to Gas in the Central Ecological Zone of the Baikal Natural Territory: Prerequisites, Effects, Barriers]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2016, no. S6, pp. 27–31 (in Russian).
15. Rogov V.Yu. Ecologically sound use of sulfur-containing coal resources of the Irkutsk basin as a factor in the evolution of the regional thermal power industry. *iPolytech Journal*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 573–582. DOI: 10.21285/1814-3520-2024-4-573-582 (in Russian).
16. Popova I.M. Emission Trading Systems as an Instrument in the Toolkit of Decarbonization Strategies. *International Organisations Research Journal*, 2022, vol. 17, no 4, pp. 62–94. DOI: 10.17323/1996-7845-2022-04-03
17. Bukvic R. Market mechanisms of reduction of greenhouse gases emissions and actions and perspectives of Russia. *Vestnik NGIEI*, 2015, no. 9 (52), pp. 23–38 (in Russian).
18. Radishauskas T.A. The system of trading quotas as a method of improving the system of environmental activity in Russia. *Mezhduнародnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2016, no. 4–1 (46), pp. 81–83. DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.120 (in Russian).
19. Kuzmin S.V., Avaliani S.L., Dodina N.S., Shashina T.A., Kislitsin V.A. Improving approaches to the characterization of atmospheric pollution exposure to assess the risk to public health during the implementation of the Federal Project "Clean Air". *SYSINSKIE ChTENIYA – 2021: Materialy II Natsional'nogo kongressa s mezhduнародnym uchastiem po ekologii cheloveka, gigiene i meditsine okruzhayushchei sredy*, Moscow, 2021, pp. 259–263 (in Russian).
20. Kleyn S.V., Popova E.V. Hygienic assessment of ambient air quality in Chita, a priority area of the Federal Clean Air Project. *ZNiSO*, 2020, vol. 333, no. 12, pp. 16–22. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-16-22 (in Russian).
21. Golub N.V. Offset of emission permits among legal entities taking part in the permit allocation experiment (on the example of companies of the fuel and energy complex). *Pravovoi energeticheskii forum*, 2023, no. 1, pp. 67–76. DOI: 10.18254/S231243500024433-4 (in Russian).
22. Perissi I., Jones A. An Emissions Offset Strategy to Accomplish 2 °C Long-Term Mitigation Goals in the European Union. *Sustainability*, 2024, vol. 16, no. 11, pp. 4783. DOI: 10.3390/su16114783
23. Matveenko A., Mikhailishchev S. Attentional Role of Quota Implementation. *CERGE-EI Working Paper Series*, 2019, no. 645. DOI: 10.2139/ssrn.3500604

May I.V., Zagorodnov S.Yu., Balashov S.Yu., Chetverkina K.V., Klyachin A.A., Chizhova Yu.E. Methodical approaches to estimating possibility and sufficiency of offsetting and redistributing emission quotas between economic entities when achieving targets of the Clean Air Federal Project. *Health Risk Analysis*, 2026, no. 1, pp. 18–29. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.02.eng

Получена: 28.02.2026

Одобрена: 24.03.2026

Принята к публикации: 28.03.2026

Научная статья

НИТРАТНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ САУДОВСКОЙ АРАВИИ И ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ РАЗНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ

Аль Мамун

Университет Хафр Аль Батин, Саудовская Аравия, 39524, г. Хафр Аль Батин, район Аль Джамайя, CHDC8147

Актуальность исследования определена известными фактами о том, что высокое хроническое суточное поступление нитратов может вызвать метгемоглобинемию, повысить риск рака, привести к эндокринным нарушениям, риску сердечно-сосудистых заболеваний, болезней желудочно-кишечного тракта, негативным исходам беременности, повышению образования нитрозаминов. Исследование посвящено загрязнению нитратами грунтовых вод на северо-востоке Саудовской Аравии и рискам здоровью разных возрастных групп, связанным с этим фактором.

Концентрации нитратов были измерены в водах источников различного типа, включая коммерческие станции водоснабжения с наличием или отсутствием очистных сооружений, скважины частных домовладений, сельскохозяйственные скважины.

Установлено отсутствие нитратного загрязнения в 65 % источников. Высокие уровни загрязнения были выявлены в 18 % источников водоснабжения населения. Наиболее высокие концентрации нитратов были обнаружены в воде сельскохозяйственных источников и колодцев, использующих воду для садоводства: от 80 до 250 мг/л, что выше допустимого порога в 50 мг/л. Уровни хронического суточного потребления нитратов варьировались от 0,4 до 24,3 мг/кг/сут для всех возрастных групп (при безопасном уровне 1,6 мг/кг/сут). У младенцев суточное потребление превышало рекомендуемые безопасные уровни до 15 раз, у детей – до 12 раз. Полученные коэффициенты опасности (HQ) свидетельствовали о неприемлемом риске здоровью, в особенности для молодого поколения. Порядка 55 % образцов воды могли считаться потенциальным источником рисков здоровью младенцев.

Результаты исследования подчеркивают необходимость повышения эффективности управления водными ресурсами на северо-востоке Саудовской Аравии и осознания серьезности проблемы системой регионального здравоохранения.

Ключевые слова: индекс нитратного загрязнения, питьевая вода, источники водоснабжения, индекс загрязнения грунтовых вод, риск здоровью, коэффициенты опасности, возрастная группа, Саудовская Аравия.

Нитратное загрязнение грунтовых вод является широко распространенной экологической проблемой, в особенности в сельскохозяйственных районах и территориях с активным животноводством. Концентрации нитратов в грунтовых водах могут значительно варьироваться, от нескольких мг до нескольких сотен мг на литр [1]. Повышенные уровни нитратов в питьевой воде могут создавать значительные риски здоровью, в особенности для младенцев и детей младшего возраста [2, 3]. Основными источниками нитратного загрязнения являются сточные воды, навоз, удобрения и природный азот в почвах [4]. В нескольких исследованиях отмечались различия между смоделированными утечками нитратов и реальными уровнями, полученными в процессе мо-

нитринга грунтовых вод. Это говорит о том, что сельскохозяйственные производители не всегда соблюдают стандарты безопасного использования органических удобрений [4]. Также на просачивание нитратов сквозь водоносные горизонты оказывают влияние геологические и грунтовые структуры потоков, что следует учитывать в рамках программ управления качеством водоснабжения [5]. Как следствие, оценка и контроль нитратного загрязнения грунтовых вод являются важнейшими задачами и требуют многостороннего подхода. Наилучшие практики менеджмента, такие как графики ирригационных мероприятий, введение удобрений на основе результатов тестов почвы и соблюдение необходимых процедур при применении навоза в качестве

© Мамун Аль, 2026

Аль Мамун – доктор технических наук, доцент кафедры физики колледжа естественных наук (e-mail: almamun@uhb.edu.sa; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9500-9483>).

ве удобрения, показали свою эффективность в качестве мер для снижения уровней нитратного загрязнения¹.

Оценка риска здоровью населения, связанного с экспозицией высокими концентрациями нитратов, предполагает несколько подходов и соображений [6]. Эпидемиологические исследования и модели риска здоровью широко используются для оценки потенциального воздействия на здоровье, вызванного экспозицией нитратами. Например, Агентство по охране окружающей среды США (US EPA) разработало модель оценки риска здоровью, которая была использована для количественной оценки потенциального риска здоровью с применением коэффициентов опасности [7]. Этот подход подразумевает расчет хронического суточного поступления (ХСП) и индекса опасности (HI) для определения уровня риска [8]. В некоторых исследованиях рассчитывался полный индекс опасности (HI_{total}) для разных демографических групп, таких как мужчины, женщины и дети, с целью оценки их относительной уязвимости [7]. Интересен тот факт, что риски здоровью, связанные с экспозицией нитратами, значительно варьируются для разных групп населения. Более высокие риски часто определяются для таких групп, как дети, беременные женщины и кормящие матери, по сравнению с прочими группами взрослого населения [9].

Многочисленные исследования, посвященные качеству грунтовых вод, связанным с ним угрозам для здоровья и концентрациям нитратов, часто проводились как на глобальном уровне, так и в Саудовской Аравии. J. Schullehner et al. изучали потенциальную взаимосвязь между нитратами в питьевой воде и риском колоректального рака [10]. В другом исследовании оценивались риски здоровью, связанные с загрязнением грунтовых вод, включая нитраты, в пригородных районах Пекина [11]. E.-S.A. Badr et al. [12] изучали качество ирригационной воды в Оазисе Аль-Ахса, Саудовская Аравия. Они обнаружили, что, согласно Иранскому индексу качества воды (IWQI), 4,1 % проб имели нормальное качество, 62,1 % – удовлетворительное, а 33,8 % подходили только для ирригации. A.A. Aly et al. оценивали качество грунтовых вод, применяемых для питья и ирригации, с использованием индекса качества воды (WQI) и гидрохимического анализа. Согласно результатам их исследования, более 47 % проб воды, не прошедшей очистку, не были пригодными для питья, в то время как очистка повышала качество [13].

Рядом исследований доказано, что глубокие скважины достигают грунтовых вод, залегающих на достаточной глубине, что обеспечивает природную защиту от поверхностного загрязнения и сокращает проникновение нитратов. Вода в таких скважинах

обычно остается под землей в течение долгого времени, что позволяет уровням нитратов снизиться благодаря природному очищению за счет длительного взаимодействия с геологическими формациями. Глубокие скважины обычно достигают более старых и стабильных источников грунтовых вод, что приводит к снижению колебаний уровней нитратов в течение года и минимальному воздействию деятельности, осуществляемой на поверхности. Свалки неорганических и органических отходов могут накапливать нитраты в процессе распада. Неадекватное обслуживание или управление подобными объектами могут привести к просачиванию нитратов в грунтовые воды, приводя к повышению их концентраций. Помимо этого, природные источники, такие как богатые нитратами геологические формации и органические компоненты почв, вносят свой вклад в повышение уровней нитратов в грунтовой воде. Геологические факторы могут способствовать накоплению и постоянному присутствию нитратов в источниках грунтовых вод [8, 14].

В предыдущем исследовании мы провели количественную оценку уровней радона и трития в грунтовых водах с применением современных сцинтилляционных измерений [15, 16], а также оценили годовую эффективную дозу и пожизненный риск рака при экспозиции тритием для различных возрастных групп [17].

Цель исследования – всесторонняя оценка нитратного загрязнения грунтовых вод и потенциальных негативных последствий для здоровья различных групп населения в северо-восточной Саудовской Аравии. Оценивая риски, связанные с экспозицией нитратами для младенцев, детей, подростков, мужчин и женщин, в рамках данного исследования, мы стремились достичь более глубокого понимания того, как нитратное загрязнение питьевой воды влияет на различные группы населения. Это первое подобное исследование в регионе, и оно не только помогает заполнить серьезный пробел в знаниях, но также является прецедентом для будущих исследований и разработки управленческих стратегий в сфере обеспечения безопасности воды и эффективности здравоохранения.

Материалы и методы. Город Хафр Аль Батин, расположенный в Восточной Провинции на северо-востоке Саудовской Аравии, является территорией с уникальными географическими и климатическими характеристиками. Географическое положение данной территории определяется координатами 28°26'3" с.ш. и 45°57'49" в.д.; она лежит в пределах обширной засушливой области Вади Аль Батин. Эта область является частью большой долины Вади Аль Руммах, которая считается наиболее протяженной сухой рекой Аравийского полуострова

¹ Power J.F., Schepers J.S. Nitrate contamination of groundwater in North America // Agriculture, Ecosystems and Environment. – 1989. – Vol. 26, № 3–4. – P. 165–187. DOI: 10.1016/0167-8809(89)90012-1

ва, простираясь на внушительные 2000 км [13, 18, 19]. Название «Хафр Аль Батин» происходит от данной географической черты и буквально означает «долина Аль Батин».

Климат Хафр Аль Батина характеризуется экстремальными перепадами температур и минимальным уровнем осадков. Зимы в регионе относительно мягкие, в вечернее время температура воздуха составляет от 2 до 8 °С. А лето здесь, наоборот, исключительно жаркое и засушливое, температура в дневное время варьируется от 40 до 50 °С. Дожди редки в течение всего года; осадки возможны в зимние месяцы, но летом они практически отсутствуют. Этот суровый климат оказывает значительное влияние на экологический и сельскохозяйственный потенциал региона.

Водоносный горизонт Saq Aquifer является жизненно важным источником пресной воды в Хафр Аль Батин и благодаря своим гидрогеологическим характеристикам может формировать значительные запасы грунтовых вод. Однако многолетняя эксплуатация привела к снижению уровней воды и потенциальным проблемам с качеством воды. Горизонт состоит из осадочных слоев, которые в основном содержат песчаник, известняк и пористые породы. Вода данного горизонта восполняется, в первую очередь, за счет нечастых и спорадических осадков в регионе. Несмотря на суровые условия, расположенный неподалеку оазис Аль Кассим, через который проходит значительная часть Вади Аль Руммах, считается одним из ведущих сельскохозяйственных регионов в данной местности [13]. Этот оазис выступает в качестве важного источника сельскохозяйственной продукции в засушливом регионе, что подчеркивает значимость водных ресурсов для создания поселений и экономической деятельности в этой части Саудовской Аравии.

Восточная провинция Саудовской Аравии отличается разнообразием геологического ландшафта, что вносит свой вклад в наличие водоносных горизонтов высокого качества [20]. Эти горизонты подразделяются на две основные группы в зависимости от их происхождения – первичные и вторичные, согласно классификации, предложенной Р. Vincent и А. S. Alsharhan et al. Первичные горизонты включают в себя четвертичные пески системы Вади, кварцевые песчаники и конгломераты, которые обладают первичной пористостью. Вторичные горизонты состоят из известняка с кальцитом, пористого и простого известняка и характеризуются вторичной пористостью [20, 21]. Песчаный водоносный горизонт Хафр Аль Батин стоит особняком среди них по причине более высокого качества воды в нем по сравнению с другими регионами (рис. 1).

Геологическое разнообразие Восточной провинции имеет большое значение для характеристик и качества ее водных ресурсов. Первичные водоносные горизонты, образованные из осадочных пород, обеспечивают природную фильтрацию и возможности для хранения воды вследствие присущей им пористости. Однако вторичные горизонты, которые подвергались таким геологическим воздействиям, как разложение или распад на фракции, обеспечивают дополнительные возможности для хранения воды вследствие их усиленной вторичной пористости. Эта комбинация первичных и вторичных горизонтов вносит свой вклад в обеспечение водной безопасности Восточной провинции, что делает ее регионом со значительными водными ресурсами. Высокое качество воды песчаного водоносного горизонта Хафр Аль Батин подчеркивает важность данных геологических фракций для обеспечения устойчивых и высококачественных источников воды для населения и промышленности в регионе.

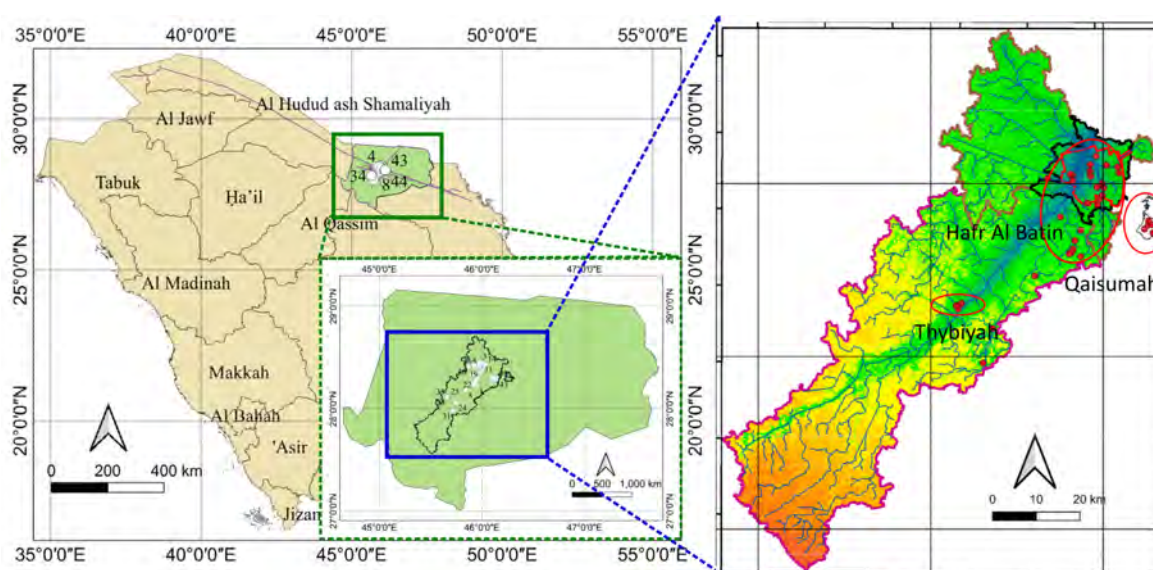


Рис. 1. Географическое положение анализируемой территории: Хафр Аль Батин, Тибия и Квазимах в Восточной Провинции Саудовской Аравии

Измерение концентраций нитратов. Для количественного измерения нитратов применялся фотометрический метод, суть которого заключается в превращении нитратов в нитрил, который затем вступает в реакцию с диазонием до образования красноватого осадка. Применение специализированной пробирки для нитрат-теста с градуированными контейнерами для образцов с дозатором на дне облегчает работу с образцами и повышает эффективность декантирования в течение всего процесса. Окончательная количественная оценка достигается за счет измерения спектральной поглощательной способности красного цвета при специфической длине волны при помощи фотометра YSI 9500 (производство США). Фотометр использует заранее запрограммированные калибровки, методы мультипликации и разные длины волн для повышения чувствительности. Он автономно выбирает подходящие фильтры для длины волны и требует уникальное количество программ для каждого теста. Результаты отображаются напрямую как значения концентрации. Прибор обладает разносторонним действием и подходит для общего анализа, а также может применяться как лабораторный / полевой фотометр с калибровочными графиками, созданными пользователем. Экспериментальная процедура более детально обсуждалась в предыдущем исследовании [22].

Статистический анализ был выполнен с применением *t*-критерия Стьюдента для сравнения концентраций нитратов в воде из разных источников. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Потенциальные риски здоровью, связанные с контаминацией питьевой воды, включали в себя расчет индексов нитратного загрязнения (ИНЗ), хронического суточного поступления (ХСП) и коэффициентов опасности (НО) [23, 24].

Индекс нитратного загрязнения (ИНЗ) обеспечивает холистическое представление сценариев нитратного загрязнения, давая возможность исследователям, менеджерам по охране окружающей среды и разработчикам политики принимать информированные решения и внедрять целевые стратегии по снижению риска здоровью.

Для расчета ИНЗ была определена концентрация нитратов в образцах воды с оценкой фонового (природного) уровня нитратов для данного территории. ИНЗ был рассчитан по следующей формуле [25]:

$$NPI = \frac{C - B}{S}, \quad (1)$$

где C – измеренная концентрация нитратов; B – фоновый уровень нитратов; S – стандартное отклонение уровней нитратов на данной территории.

Образцы воды были классифицированы на основе рассчитанных значений ИНЗ с определением соответствующей категории загрязнения, как показано в табл. 1.

Таблица 1

Значение ИНЗ и соответствующая категория загрязнения

Значение ИНЗ	Категория загрязнения
< 0	Отсутствие загрязнения
0–1	Незначительное загрязнение
1–2	Умеренное загрязнение
2–3	Значительное загрязнение
> 3	Очень значительное загрязнение

Расчет *хронического суточного поступления (ХСП)* нитратов обеспечивает многосторонний анализ множества переменных с сильными различиями между такими возрастными группами, как младенцы, дети, подростки и взрослые. Математические расчеты для оценки ХСП (дозы) включали специфические параметры для каждой возрастной группы, такие как средние уровни потребления воды и пищевых продуктов, которые значительно отличались для взрослого и детского населения².

Коэффициент опасности (НО) рассчитывается путем сравнения установленного уровня экспозиции определенным веществом и его референтной дозы. Последняя устанавливается в рамках токсикологических исследований и представляет собой максимальный уровень экспозиции, считающийся безопасным в течение определенного периода времени. По своей сути коэффициент опасности является инструментом оценки того, превышает ли уровень экспозиции безопасный предел. Агентство по охране окружающей среды США применило коэффициент опасности для расчета неканцерогенных рисков, построив вероятностную модель, где он определялся как соотношение установленной дозы загрязняющего вещества и его референтной дозы³. Данный метод может продемонстрировать уровень неканцерогенных рисков здоровью населения, обусловленных использованием нитратов. Население было разделено на четыре возрастные группы на основании физиологических и поведенческих различий: младенцы (0–3 мес.), дети (0–10 лет), подростки (11–20 лет) и взрослые (21–75 лет). Неканцерогенные риски здо-

² Risk-assessment guidance for Superfund. Volume 1. Human Health Evaluation Manual (Part A). Interim Final // U.S. EPA. – 1989. – 289 p.; U.S. EPA. National Primary Drinking Water Regulations; Radionuclides; Final Rule // Fed. Reg. – 2000. – Vol. 65, № 236. – P. 76708; U.S. EPA. National primary drinking water regulations; Radionuclides; Proposed Rule // Fed. Reg. – 1991. – Vol. 56. – P. 33050–33127.

³ U.S. EPA. National Primary Drinking Water Regulations; Radionuclides; Final Rule // Fed. Reg. – 2000. – Vol. 65, № 236. – P. 76708; U.S. EPA. National primary drinking water regulations; Radionuclides; Proposed Rule // Fed. Reg. – 1991. – Vol. 56. – P. 33050–33127.

ровью, обусловленные экспозицией нитратами в питьевой воде, были рассчитаны для разных групп населения по следующей формуле³:

$$HQ = \frac{CDI}{RfD} \quad (2)$$

Значение ниже «1» означает минимальный риск неканцерогенных нарушений здоровья, в то время как значение выше «1» говорит о возможности неканцерогенных нарушений. Коэффициент опасности HQ описывает риск метгемоглобинемии при употреблении питьевой воды с нитратами. RfD – это доза, экспозиция ниже которой не вызывает неканцерогенных токсикологических эффектов для экспонированного населения в течение всего рассматриваемого периода экспозиции. Согласно данным U.S. EPA⁴, для нитратов была рассчитана доза RfD равная 1,6 мг/кг/день. В целом следует учитывать несколько путей экспозиции при оценке рисков здоровью, обусловленных такими загрязняющими веществами, как нитраты.

Согласно предыдущим исследованиям, питьевая вода и контакт через кожу при мытье / купании в воде, загрязненной нитратами, являются двумя основными путями их поступления в организм [26]. Однако в рамках данного исследования оценивался только риск, обусловленный поступлением с питьевой водой с разными уровнями нитратного загрязнения, поскольку в данном регионе мы можем ожидать минимальный эффект от второго пути поступления. В табл. 2 приведены основные параметры экспозиции для четырех возрастных групп.

При характеристике риска использовали следующую шкалу:

$HQ < 0,1$ – пренебрежимо малый риск (приемлемый);

$0,1 \leq HQ < 1$ – низкий риск (приемлемый);

$1 \leq HQ < 4$ – средний (неприемлемый);

$HQ \geq 4$ – высокий риск (неприемлемый).

Результаты и их обсуждение. Определение нитратов было выполнено в образцах грунтовых вод из разных источников на исследуемой территории. В табл. 3 представлены концентрации нитратов в зависимости от типа источника, его назначения, количества источников и способов очистки.

Согласно полученным данным, уровни нитратов в воде коммерческих водных источников (питьевой воды) составили от 33 до 49 мг/л. Средние концентрации в воде, не прошедшей процедуру очистки, составили 41,7 мг/л. После очистки эти уровни снижались до 16–43 мг/л, составляя в среднем 23 мг/л. Следует отметить, что на коммерческих водоочистных сооружениях уровни нитратов были ниже даже до очистки. На данных сооружениях соблюдались требования по уровню нитратов, рекомендованные ВОЗ (> 50 мг/л). Успешное соблюдение данных рекомендаций может быть связано с использованием воды из глубоких скважин, которая характеризуется хорошим качеством. На этих водопроводных станциях внедрены наиболее продвинутые методы водоочистки, включая фильтрацию, дезинфекцию и химическую очистку, что гарантирует эффективное удаление примесей, загрязняющих веществ и патогенов, обеспечивая безопасность питьевой воды. Помимо этого, данные станции строго придерживались контроля качества и гигиенических стандартов, проводя регулярное тестирование и мониторинг для обеспечения соблюдения рекомендаций по безопасности воды. Профессиональные работники, обладающие всеми необходимыми навыками

Таблица 2

Параметры, использованные для оценки риска здоровью⁵

Параметр	Возрастная группа	Значение	Единицы измерения
Объем потребления (IR вода)	Младенцы	0,64	л/сут
	Дети	1	
	Подростки	1,7	
	Взрослое население (мужчины)	2,4	
	Взрослое население (женщины)	2,3	
Масса тела (BW)	Младенцы	4	кг
	Дети	20	
	Подростки	54	
	Взрослое население (мужчины)	75	
	Взрослое население (женщины)	69	
Референтная доза (RfD)	Референтная доза для перорального поступления	1,6	мг/кг/сут ⁶

⁴ U.S. EPA. National primary drinking water regulations; Radionuclides; Proposed Rule // Fed. Reg. – 1991. – Vol. 56. – P. 33050–33127.

⁵ U.S. EPA. National primary drinking water regulations; Radionuclides; Proposed Rule // Fed. Reg. – 1991. – Vol. 56. – P. 33050–33127; Highlights of the Exposure Factors: Handbook / J. Moya, L. Phillips, K. Osborn, H. Simpson, E. Dederick // U.S. EPA. – 2011.

⁶ Nitrate; CASRN 14797-55-8 [Электронный ресурс] // IRIS: Integrated Risk Information System. – 2016. – URL: https://iris.epa.gov/static/pdfs/0076_summary.pdf (дата обращения: 16.05.2025).

Таблица 3

Концентрации нитратов в водах скважин, использующихся для питья, коммунально-бытовых и сельскохозяйственных нужд

Тип станции	Назначение	Кол-во скважин	Определение нитратов	NO ₃ , мг/л	
Коммерческие	Питьевая, коммунально-бытовые	13	До очистки	Максимум	49,0
				Минимум	33,0
				Среднее	41,7
			После очистки	Максимум	42,5
				Минимум	16,0
				Среднее	23,0
	Питьевая, коммунально-бытовые	3	Вода без очистки	Максимум	120,0
				Минимум	37,0
				Среднее	47,3
Частные домовладения	Питьевая, коммунально-бытовые	26	Вода без очистки	Максимум	380,0
				Минимум	12,0
				Среднее	114,6
				Станд. откл.	114,4
	С/х и садоводство	3	Вода без очистки	Максимум	250,0
				Минимум	80,0
				Среднее	80,0
			Станд. откл.	86,6	

обслуживания оборудования, обеспечивают точность и эффективность процессов водоочистки. Постоянная поставка высококачественной воды с данных станций стала возможной благодаря продвинутым методам очистки, строгому контролю качества, надежным источникам воды и эффективным практикам работы и обслуживания.

В воде коммерческих станций без устройств очистки и частных водоисточников были зафиксированы заметно более высокие уровни нитратов. Концентрации нитратов в грунтовых водах коммерческих станций без очистных сооружений составили

от 37 до 120 мг/л со средним значением 47,3 мг/л. Более широкий диапазон концентраций был выявлен для частных скважин и иных источников – 12–380 мг/л, со средним значением 114,6 мг/л. Источники воды, используемой для сельского хозяйства и садоводства, имели наиболее высокие уровни нитратов в воде – от 80 до 250 мг/л, со средним значением 80 мг/л, что превышает допустимый уровень в 50 мг/л. Пространственное распределение нитратов, проанализированное в изучаемом регионе для глубоких (а) и неглубоких (б) скважин, показано на рис. 2.

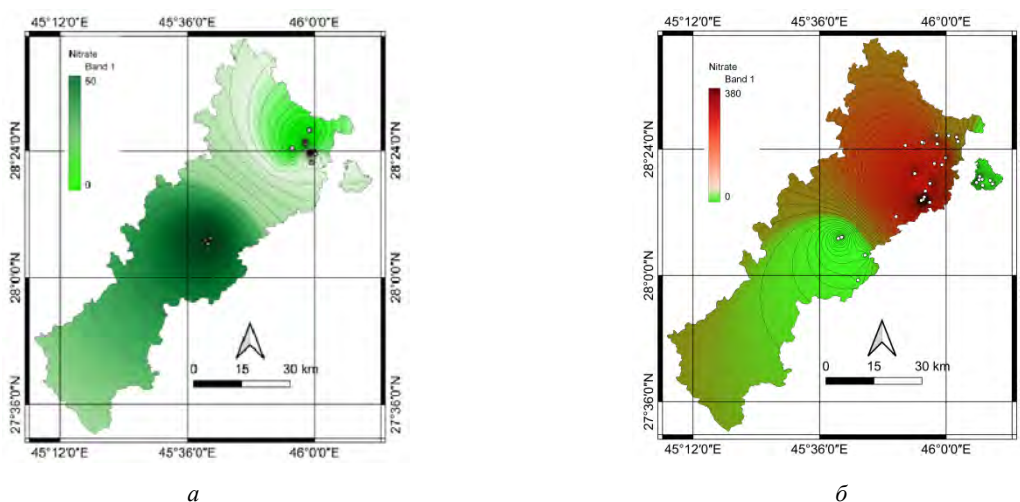


Рис. 2. Пространственное распределение нитратов, проанализированное в изучаемом регионе для глубоких (а) и неглубоких (б) скважин

Выявлены значимые различия в средних концентрациях ($t(26) = -2,92; p = 0,007$), что указывает на более высокие уровни нитратов в воде из частных скважин.

Результаты расчета индекса нитратного загрязнения, полученные для анализируемой территории, приведены в табл. 4, четко и сжато давая представление о статусе загрязнения.

Таблица 4

Индекс нитратного загрязнения (ИНЗ) и его категории для анализируемой территории

Значение ИНЗ	Категория загрязнения	Количество скважин, %
< 0	Загрязнение отсутствует	64,44
0–1	Незначительное	8,89
1–2	Умеренное	8,89
2–3	Значительное	6,67
> 3	Очень значительное	11,11

Анализ ИНЗ для местоположения скважин выявил сложную структуру загрязнения грунтовых вод. Широкий диапазон значений ИНЗ от -0,76 до 6,60 (со средним значением 0,53) указывает на разнообразие нитратного загрязнения на анализируемой территории. Загрязнение не было выявлено в воде большинства скважин (65 %), это говорит о том, что значительная часть грунтовых вод не подверглась загрязнению нитратами. Однако обнаружены низких (9 %) и умеренных (9 %) уровней загряз-

нения в некоторых скважинах указывает на начало накопления нитратов, возможно, из-за сельскохозяйственной деятельности, утечке канализационных вод или иной человеческой деятельности. Особую тревогу вызывает значительная доля (18 %) скважин с обнаруженными высокими уровнями загрязнения. Это подчеркивает тяжесть проблемы нитратного загрязнения на некоторых территориях и указывает на важность принятия немедленных мер по очистке воды. Повышенные концентрации нитратов в этих загрязненных скважинах, как показано в табл. 4, могут создавать значительные риски здоровью населения и целостности экосистемы.

Средние, максимальные, минимальные значения ХСП и стандартное отклонение (SD) для каждой возрастной группы приведены в табл. 5.

ХСП нитратов для взрослых обоих полов, детей, подростков и младенцев варьировалось от таких низких уровней, как 0,4, до таких высоких уровней, как 24,3 мг/кг/сут, достигая превышения установленного ВОЗ допустимого уровня (1,6 мг/кг/сут) в 15,2 раза. Наиболее высокие значения ХСП были установлены для младенцев, за которыми следовали дети, подростки и взрослые.

Значения ХСП, установленные для населения, потребляющего воду от станций с очистными сооружениями и / или из глубоких скважин, находились в пределах допустимого диапазона для всех возрастных групп или близко к его верхней границе. Это объясняется тем, что вода глубоких скважин характеризуется природной фильтрацией, что снижает

Таблица 5

Хроническое суточное поступление (ХСП) (мг/кг/сут) для младенцев, детей, подростков, взрослых мужчин и женщин

Тип станции	Назначение	Кол-во скважин	Определение нитратов	Показатель	Младенцы	Дети	Подростки	Взрослые (м)	Взрослые (ж)		
Коммерческие	Питьевая, коммунально-бытовые	13 (3–7, 11–12, 19, 26–28, 32, 34)	До очистки	Максимум	3,1*	2,5	1,5	1,6	1,6		
				Минимум	2,1	1,7	1,0	1,1	1,1		
				Среднее	2,7	2,1	1,3	1,3	1,4		
			После очистки	Максимум	2,7	2,1	1,3	1,4	1,4		
				Минимум	1,0	0,8	0,5	0,5	0,5		
				Среднее	1,5	1,1	0,7	0,7	0,8		
	Питьевая, коммунально-бытовые	3 (23, 36–37)	Неочищенная вода	Максимум	7,7	6,0	3,8	3,8	4,0		
				Минимум	2,0	1,6	1,0	1,0	1,1		
				Среднее	4,0	3,1	2,0	2,0	2,1		
	Частные домовладения	Питьевая, коммунально-бытовые	26 (1, 2, 10, 13–18, 20–22, 24–25, 29–31, 33, 35)	Неочищенная вода	Максимум	24,3	19,0	12,0	12,2	12,7	
					Минимум	0,8	0,6	0,4	0,4	0,4	
					Среднее	6,2	4,8	3,1	3,1	3,2	
С/х и садоводство				3 (8, 9, 30)	Неочищенная вода	Максимум	16,0	12,5	8,0	8,0	8,3
						Минимум	3,8	3,0	1,9	1,9	2,0
						Среднее	9,2	7,2	4,6	4,6	4,8
Станд. откл.		6,2	4,9	3,1	3,1	3,3					

Примечание: тоном выделены значения, превышающие безопасный уровень суточного поступления.

Коэффициенты опасности для младенцев, детей, подростков, взрослых мужчин и женщин

Тип станции	Назначение	Кол-во скважин	Определение нитратов	Показатель	Младенцы	Дети	Подростки	Взрослые (м)	Взрослые (ж)
Коммерческие	Питьевая, коммунально-бытовые	13	До очистки	Максимум	1,9	1,6	0,9	1,0	1,0
				Минимум	1,3	1,1	0,6	0,7	0,7
				Среднее	1,7	1,3	0,8	0,8	0,9
	Питьевая, коммунально-бытовые	3	Неочищенная вода	Максимум	1,7	1,3	0,8	0,9	0,9
				Минимум	0,6	0,5	0,3	0,3	0,3
				Среднее	0,9	0,7	0,4	0,4	0,5
Частные домовладения	Питьевая, коммунально-бытовые	26	Неочищенная вода	Максимум	4,8	3,8	2,4	2,4	2,5
				Минимум	1,3	1,0	0,6	0,6	0,7
				Среднее	2,5	1,9	1,3	1,3	1,3
	С/х и садоводство	3	Неочищенная вода	Максимум	15,2	11,9	7,5	7,6	7,9
				Минимум	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3
				Среднее	3,9	3,0	1,9	1,9	2,0
С/х и садоводство	3	Неочищенная вода	Максимум	10,0	7,8	5,0	5,0	5,2	
			Минимум	2,4	1,9	1,2	1,2	1,3	
			Среднее	5,8	4,5	2,9	2,9	3,0	

Примечание: – высокий; – средний; – низкий.

уровни загрязнения. Более того, микробная активность в водах, залегающих на большой глубине, также является пониженной, что приводит к снижению продукции нитратов и более низким значениям ХСП. Однако для детей и младенцев все равно существует определенный риск. Очень высокие значения ХСП были установлены для станций без очистных сооружений, а также частных скважин с водой для питья или сельскохозяйственных нужд.

Высокое хроническое суточное поступление нитратов может вызвать метгемоглобинемию, повысить риск рака, привести к эндокринным нарушениям, риску ССЗ, заболеваний ЖКТ, негативным исходам беременности, повышению образования нитрозаминов. Хотя природные нитраты в рационе в целом безопасны, следует избегать чрезмерного потребления загрязненной воды или продуктов питания. Обращение за квалифицированной медицинской помощью и соблюдение рекомендаций по безопасности питания являются необходимыми условиями охраны здоровья.

Значения коэффициента опасности (HQ) были рассчитаны для оценки потенциальных рисков здоровью вследствие экспозиции нитратами для разных возрастных групп. В среднем значения HQ были самыми высокими для младенцев и детей, снижались далее для подростков, женщин и мужчин (табл. 6).

Относительно низкие значения коэффициента HQ были отмечены только для коммерческих станций с очистными сооружениями, а средние значения HQ были наиболее высокими для младенцев. Эти результаты говорят о заметных различиях в коэффициентах опасности, связанных с экспозицией нитратами, для возрастных групп, изучаемых в рамках данного исследования.

Значительную тревогу вызывает тот факт, что установленный безопасный уровень $HQ = 1$ был превышен для значительной доли населения, использующего грунтовые воды в качестве источника питьевого водоснабжения: а именно для 37,8 % взрослого населения обоих полов, для 33,3 % подростков, для 51,11 % детей и 55,5 % младенцев. При этом для населения, потребляющего воду частных скважин, колодцев, риски достигали уровней «высокий» для всех категорий населения. Это означает, что значительная доля питьевой воды на анализируемой территории, в особенности из источников без очистных сооружений, формирует потенциальные риски нарушения здоровья младенцев, детей, подростков и взрослого населения. Результаты исследования подчеркивают повышенную уязвимость младенцев и детей к рискам здоровью, вызванным экспозицией нитратами, по сравнению с взрослым населением. Это говорит о необходимости строгого мониторинга и разработки мер по повышению безопасности воды на данной территории с целью защиты таких уязвимых групп населения в особенности младенцев и детей.

Следует отметить, что результаты данного исследования сопоставимы с данными, полученными в других странах с аналогичными проблемами.

В табл. 7 приведены диапазоны концентраций для различных типов воды в разных странах. Средние уровни нитратов, установленные в нашем исследовании, сопоставимы с концентрациями, установленными в таких странах, как Китай, Индия, Иран, Малайзия, Турция, Марокко и Пакистан.

Представленные данные свидетельствуют об актуальности выполненного исследования и подтверждают, что уровни нитратов в грунтовых водах определяются комбинацией природных факторов, человеческой деятельности и мер регулирования.

Средняя концентрация нитратов в воде в некоторых странах в сравнении со средним уровнем, установленным в рамках данного исследования

Страна	Тип воды	Год	Нитрат С, мг/л	Источник
Австралия	Бутилированная	2019	9,3–43,8	[27]
Китай	Грунтовые	2016	2,66–103,0	[24]
Индия	Грунтовые	2018	36,51	[28]
Иран	Питьевая	2019	17,56	[29]
Малайзия	Грунтовые	2018	1,26–13,96	[30]
Пакистан	Питьевая	2020	42	[31]
Марокко	Грунтовые	2022	2–175	[32]
Турция	Питьевая	2013	0,28–16,2	[33]
Рекомендации ВОЗ	Питьевая	2004	50,00	См. в ⁷
Саудовская Аравия	Питьевая	2023	16–42,5	Данное исследование

Выводы. Многосторонняя оценка нитратного загрязнения грунтовых вод и потенциальных последствий этого загрязнения для здоровья для разных возрастных групп в северо-восточной Саудовской Аравии выявила значительные расхождения в уровнях нитратов для разных типов источников, с более низкими уровнями, установленными для коммерческих станций с очистными сооружениями, по сравнению с частными скважинами и станциями без них. Анализ индекса нитратного загрязнения показал, что загрязнение отсутствовало в 65 % источников. Высокие уровни были выявлены в 18 % источников водоснабжения населения, что требует пристального внимания. Самые высокие уровни нитратов были обнаружены в воде источников, используемых для сельскохозяйственных нужд и садоводства, от 80 до 250 мг/л, что выше допустимого уровня – 50 мг/л.

Расчет хронического суточного поступления (ХСП) показал, что младенцы и дети являются особо уязвимой группой при экспозиции нитратами, значения данного показателя варьируются от 0,4 до 24,3 мг/кг/сут во всех возрастных группах при рекомендуемом безопасном уровне 1,6 мг/кг/сут.

Оценка коэффициента опасности (*HQ*) подчеркнула наличие потенциальных рисков для здоровья, в особенности для младенцев и детей. Значения коэффициента превосходили безопасный порог, равный 1,0, для 55,55 % образцов питьевых вод.

Результаты говорят о необходимости строгого мониторинга и снижения эффектов экспозиции для обеспечения безопасности воды на данной территории, в особенности с целью защиты таких уязвимых групп населения, как младенцы и дети.

Данное исследование подчеркивает важность внедрения целенаправленных мер, направленных на устранение нитратного загрязнения грунтовых вод и обеспечение охраны здоровья населения для всех возрастных групп на исследованной территории. При этом следует иметь в виду, что если вода, загрязненная нитратами, считается непригодной для питья, ее применение возможно в сельском хозяйстве и садоводстве. Таким образом, представляется целесообразным реализовать практический подход к управлению ресурсами и экологически устойчивые практики водопользования в северо-восточной Саудовской Аравии.

Данное исследование не только восполняет критический пробел в знаниях, но и закладывает основы будущих исследований и разработки политики по обеспечению безопасности воды и эффективного здравоохранения. Результаты данного исследования подчеркивают необходимость нахождения баланса между распределением водных ресурсов для потребления населением и сельскохозяйственных нужд, оставляя приоритетным внедрение эффективных мер по снижению уровней нитратов в грунтовых водах, используемых для питьевого водоснабжения.

Благодарности. Автор выражает благодарность деканату по научным исследованиям, университет Хафр Аль Батин, Саудовская Аравия, за разрешение воспользоваться их экспериментальным оборудованием.

Финансирование. Исследование получило финансовую поддержку Институционального проекта финансирования (№ IFP-A-202-1-3) Министерства Образования Саудовской Аравии.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов в связи с публикацией данной статьи.

⁷ WHO. Nitrite in Drinking Water. Background Document for development of WHO Guidelines for Drinking Water Quality // WHO. – 2004.

Список литературы

1. Determination of dominant sources of nitrate contamination in transboundary (Russian Federation / Ukraine) catchment with heterogeneous land use / Y. Vystavna, D. Diadin, V. Grynenko, V. Yakovlev, Y. Vergeles, F. Huneau, P.M. Rossi, J. Hejzlar, K. Knöller // *Environ. Monit. Assess.* – 2017. – Vol. 189, № 10. – P. 509. DOI: 10.1007/s10661-017-6227-5
2. Nitrate health risk and geochemical characteristics of water in a semi-urban: implications from graphical plots and statistical computing / J.C. Egbueri, J.C. Agbasi, C.F. Ikwuka, O.I. Chiaghanam, M.I. Khan, M.Y.A. Khan, N. Khan, H.C. Uwajingba // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry.* – 2023. – Vol. 104, № 19. – P. 8491–8511. DOI: 10.1080/03067319.2023.2206022
3. Contamination levels of water sources and the associated nitrate health risks to six age groups / J.C. Egbueri, C.F. Ikwuka, J.C. Agbasi, N.D. Nweke, S.S. Refadah, V.E. Nwazelibe, H.C. Uwajingba, S.I. Abba, M.Y.A. Khan // *Toxin Reviews.* – 2024. – Vol. 44, № 1. – P. 48–61. DOI: 10.1080/15569543.2024.2393193
4. Infascelli R., Pelorosso R., Boccia L. Spatial assessment of animal manure spreading and groundwater nitrate pollution // *Geospat. Health.* – 2009. – Vol. 4, № 1. – P. 27–38. DOI: 10.4081/gh.2009.208
5. Assessment of the Contribution of N-Fertilizers to Nitrate Pollution of Groundwater in Western Iran (Case Study: Ghorveh–Dehgela Aquifer) / O. Rahmati, A.N. Samani, N. Mahmoodi, M. Mahdavi // *Water Quality, Exposure and Health.* – 2014. – Vol. 7. – P. 143–151. DOI: 10.1007/s12403-014-0135-5
6. Water pollution indexing and health risk assessment due to PTE ingestion and dermal absorption for nine human populations in Southeast Nigeria / J.C. Agbasi, C.N. Chukwu, N.D. Nweke, H.C. Uwajingba, M.Y.A. Khan, J.C. Egbueri // *Groundwater for Sustainable Development.* – 2023. – Vol. 21. – P. 100921. DOI: 10.1016/j.gsd.2023.100921
7. Adimalla N. Spatial distribution, exposure, and potential health risk assessment from nitrate in drinking water from semi-arid region of South India // *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal.* – 2019. – Vol. 26, № 2. – P. 310–334. DOI: 10.1080/10807039.2018.1508329
8. Jamaludin N., Sham S.M., Ismail S.N.S. Health risk assessment of nitrate exposure in well water of residents in intensive agriculture area // *American Journal of Applied Sciences.* – 2013. – Vol. 10, № 5. – P. 442–448. DOI: 10.3844/ajassp.2013.442.448
9. Effect of hydrogeological conditions on groundwater nitrate pollution and human health risk assessment of nitrate in Jiaokou Irrigation District / Q. Zhang, H. Qian, P. Xu, W. Li, W. Feng, R. Liu // *Journal of Cleaner Production.* – 2021. – Vol. 298. – P. 126783. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126783
10. Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk: A nationwide population-based cohort study / J. Schullehner, B. Hansen, M. Thygesen, C.B. Pedersen, T. Sigsgaard // *Int. J. Cancer.* – 2018. – Vol. 143, № 1. – P. 73–79. DOI: 10.1002/ijc.31306
11. Human health risk assessment of groundwater nitrate at a two geomorphic units transition zone in northern China / H. Wang, K. Lu, C. Shen, X. Song, B. Hu, G. Liu // *Journal of Environmental Sciences.* – 2021. – Vol. 110, № 3. – P. 38–47. DOI: 10.1016/j.jes.2021.03.013
12. Badr E.-S.A., Tawfik R.T., Alomran M.S. An Assessment of Irrigation Water Quality with Respect to the Reuse of Treated Wastewater in Al-Ahsa Oasis, Saudi Arabia // *Water.* – 2023. – Vol. 15, № 13. – P. 2488. DOI: 10.3390/w15132488
13. Aly A.A., Al-Omran A.M., Alharby M.M. The water quality index and hydrochemical characterization of groundwater resources in Hafar Albatin, Saudi Arabia // *Arab. J. Geosci.* – 2014. – Vol. 8. – P. 4177–4190. DOI: 10.1007/s12517-014-1463-2
14. Rajmohan N., Elango L. Nutrient chemistry of groundwater in an intensively irrigated region of southern India // *Environ. Geol.* – 2005. – Vol. 47. – P. 820–830. DOI: 10.1007/s00254-004-1212-z
15. Mamun A., Alazmi A.S. Advance application of liquid scintillation counter to estimate radon concentration in groundwater // *Arab. J. Geosci.* – 2023. – Vol. 17. – P. 34. DOI: 10.1007/s12517-023-11846-8
16. Mamun A. Evaluating groundwater residence time in arid aquifers: a crucial metric for monitoring sustainable water management // *Acque Sotteranee – Italian Journal of Groundwater.* – 2024. – Vol. 13, № 4. DOI: 10.7343/as-2024-755
17. Mamun A. Assessment of the annual effective dose and lifetime cancer risks associated with tritium in groundwater within different age groups // *HydroResearch.* – 2025. – Vol. 8. – P. 41–48. DOI: 10.1016/j.hydres.2024.09.004
18. El-Taher A., Al-Turki A. Radon activity measurements in irrigation water from Qassim Province by RAD7 // *J. Environ. Biol.* – 2016. – Vol. 37, № 6. – P. 1299–1332.
19. Assessment of Annual effective Dose for Different Age Groups based on Radon Concentrations in the Groundwater of Qassim, Saudi Arabia / A.M. El-Taher, A.A. Abojassim, L.A. Najam, H.A.A.B. Mraity // *Iranian Journal of Medical Physics.* – 2020. – Vol. 17, № 1. – P. 15–20. DOI: 10.22038/ijmp.2019.37379.1476
20. Vincent P. Saudi Arabia: an environmental overview. – 1st ed. – London: CRC Press, 2008. – 332 p. DOI: 10.1201/9780203030882
21. Hydrogeology of an Arid Region: The Arabian Gulf and Adjoining Areas / A.S. Alsharhan, Z.A. Rizk, A.E.M. Nairn, D.W. Bakhit, S.A. Alhajari. – Amsterdam: Elsevier, 2001.
22. Mamun A., Sharif H.O. Quantification of Nitrate Level in Shallow and Deep Groundwater Wells for Drinking, Domestic and Agricultural Uses in Northeastern Arid Regions of Saudi Arabia // *Limnological Review.* – 2024. – Vol. 24, № 3. – P. 178–191. DOI: 10.3390/limnolrev24030010
23. Vaiphei S.P., Kurakalva R.M. Hydrochemical characteristics and nitrate health risk assessment of groundwater through seasonal variations from an intensive agricultural region of upper Krishna River basin, Telangana, India // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* – 2021. – Vol. 213. – P. 112073. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112073
24. Assessing Nitrate and Fluoride Contaminants in Drinking Water and Their Health Risk of Rural Residents Living in a Semi-arid Region of Northwest China / J. Chen, H. Wu, H. Qian, Y. Gao // *Exposure and Health.* – 2016. – Vol. 9. – P. 183–195. DOI: 10.1007/s12403-016-0231-9
25. Assessing Groundwater Quality and Diagnosing Nitrate Pollution in the Sidi Allal Region: A GIS-Based Approach Utilizing the Groundwater Pollution Index / H.S. Al-Aizari, A.A. Ghfar, A.R. Al-Aizari, A.-J.M. Al-Aizari, M.S. Moshab, M. Sillanpää // *Hydrology.* – 2023. – Vol. 10, № 12. – P. 227. DOI: 10.3390/hydrology10120227

26. Health risk assessment of groundwater pollution – A case study of typical city in North China plain / M. Yang, Y. Fei, Y. Ju, Z. Ma, H. Li // J. Earth Sci. – 2012. – Vol. 23. – P. 335–348. DOI: 10.1007/s12583-012-0260-7
27. Drinking-water nitrate and cancer risk: A systematic review and meta-analysis / E.E. Essien, K.S. Abasse, A. Côté, K.S. Mohamed, M.M.F.A. Baig, M. Habib, M. Naveed, X. Yu [et al.] // Arch. Environ. Occup. Health. – 2022. – Vol. 77, № 1. – P. 51–67. DOI: 10.1080/19338244.2020.1842313
28. Adimalla N., Li P., Qian H. Evaluation of groundwater contamination for fluoride and nitrate in semi-arid region of Nirmal Province, South India: a special emphasis on human health risk assessment (HHRA) // Human and Ecological Risk Assessment. – 2018. – Vol. 25, № 5. – P. 1107–1124. DOI: 10.1080/10807039.2018.1460579
29. Health risk assessment to fluoride and nitrate in drinking water of rural residents living in the Bardaskan city, arid region, southeastern Iran / M. Radfard, A. Gholizadeh, A. Azhdarpoor, A. Badeenezhad, A. Mohammadi, M. Yousefi // Desalin. Water Treat. – 2019. – Vol. 145. – P. 249–256. DOI: 10.5004/dwt.2019.23651
30. Groundwater quality assessment of domestic shallow dug wells in parts of Tanah Merah district, Malaysia / K.R.P. Mathialagan, H.E. Mansor, A. Mardhiya, Z.A. Kamal, M.M.A. Khan // Journal of Tropical Resources and Sustainable Science (JTRSS). – 2018. – Vol. 6. – P. 62–67.
31. Health risk assessment in different age-group due to nitrate, fluoride, nitrite and geo-chemical parameters in drinking water in Ahmadpur East, Punjab, Pakistan / I. Alam, J.U. Rehman, S. Nazir, A. Nazeer, M. Akram, Z. Batool, H. Ullah, A. Hameed [et al.] // Human and Ecological Risk Assessment. – 2021. – Vol. 27, № 7. – P. 1747–1763. DOI: 10.1080/10807039.2021.1902264
32. Temporal and spatial assessment of groundwater contamination with nitrate using nitrate pollution index (NPI), groundwater pollution index (GPI), and GIS (case study: Essaouira basin, Morocco) / O. El Mountassir, M. Bahir, D. Ouazar, A. Chehbouni, P.M. Carreira // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. – 2022. – Vol. 29, № 12. – P. 17132–17149. DOI: 10.1007/s11356-021-16922-8
33. Demir V., Ergin S. Occurrence and Assessment of Chemical Contaminants in Drinking Water in Tunceli, Turkey // Journal of Chemistry. – 2013. – Vol. 2013, № 1, Suppl. – P. 238374. DOI: 10.1155/2013/238374

Мамун А. Нитратное загрязнение грунтовых вод на северо-востоке Саудовской Аравии и оценка риска здоровью разных возрастных групп населения // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 30–42. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.03

UDC 614.7

DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.03.eng



Research article

NITRATE POLLUTION IN NORTHEASTERN SAUDI ARABIAN GROUNDWATER: A MULTI-AGE GROUP HEALTH RISK ASSESSMENT

A. Mamun

University of Hafr Al Batin, CHDC8147, Al Jamiah, Hafr Al Batin, 39524, Saudi Arabia

The relevance of the study comes from well-known facts that high-dose repeated daily administration of nitrates can induce methemoglobinemia, create elevated cancer risks, lead to endocrine diseases, cardiovascular diseases, diseases of the digestive system, negative pregnancy outcomes, and elevated formation of nitrosamines. This study investigates nitrate pollution in groundwater and its associated health risks across different age groups in northeastern Saudi Arabia.

The nitrate concentrations were measured in various well types, including commercial water stations, untreated commercial stations, private domestic wells, and agricultural wells.

No detectable pollution was established in 65 % of the examined wells while 18 % exhibited high levels of pollution. The highest nitrate concentrations were found in the agricultural and gardening wells, ranging from 80 to 250 mg/L, surpassing the 50 mg/L acceptable threshold. Chronic daily intake (CDI) values ranged from 0.4 to 24.3 mg/kg/day across all age groups (the safe level being 1.6 mg/kg/day). Chronic daily intake was 15 times higher than recommended safe levels for infants and up to 12 times higher for children. Hazard quotient (HQ) assessments further emphasized the unacceptable health risks, particularly for younger populations. Specifically, 55.55 % of the samples posed potential non-cancer health concerns for infants.

© Mamun A., 2026

Al Mamun – Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Physics at College of Science (e-mail: almamun@uhb.edu.sa; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9500-9483>).

The findings underscore the critical need for improved water management in northeastern Saudi Arabia and greater public health awareness in the region.

Keywords: Nitrate pollution index, drinking water, water supply sources, groundwater pollution index, health risk, hazard quotient, age group, Saudi Arabia.

References

1. Vystavna Y., Diadin D., Grynenko V., Yakovlev V., Vergeles Y., Huneau F., Rossi P.M., Hejzlar J., Knöller K. Determination of dominant sources of nitrate contamination in transboundary (Russian Federation/Ukraine) catchment with heterogeneous land use. *Environ. Monit. Assess.*, 2017, vol. 189, no. 1, pp. 509. DOI: 10.1007/s10661-017-6227-5
2. Egbueri J.C., Agbasi J.C., Ikwuka C.F., Chiaghanam O.I., Khan M.I., Khan M.Y.A., Khan N., Uwajingba H.C. Nitrate health risk and geochemical characteristics of water in a semi-urban: implications from graphical plots and statistical computing. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2023, vol. 104, no. 19, pp. 8491–8511. DOI: 10.1080/03067319.2023.2206022
3. Egbueri J.C., Ikwuka C.F., Agbasi J.C., Nweke N.D., Refadah S.S., Nwazelibe V.E., Uwajingba H.C., Abba S.I., Khan M.Y.A. Contamination levels of water sources and the associated nitrate health risks to six age groups. *Toxin Reviews*, 2024, vol. 44, no. 1, pp. 48–61. DOI: 10.1080/15569543.2024.2393193
4. Infascelli R., Pelorosso R., Boccia L. Spatial assessment of animal manure spreading and groundwater nitrate pollution. *Geospat. Health*, 2009, vol. 4, no. 1, pp. 27–38. DOI: 10.4081/gh.2009.208
5. Rahmati O., Samani A.N., Mahmoodi N., Mahdavi M. Assessment of the Contribution of N-Fertilizers to Nitrate Pollution of Groundwater in Western Iran (Case Study: Ghorveh–Dehgelan Aquifer). *Water Quality, Exposure and Health*, 2014, vol. 7, pp. 143–151. DOI: 10.1007/s12403-014-0135-5
6. Agbasi J.C., Chukwu C.N., Nweke N.D., Uwajingba H.C., Khan M.Y.A., Egbueri J.C. Water pollution indexing and health risk assessment due to PTE ingestion and dermal absorption for nine human populations in Southeast Nigeria. *Groundwater for Sustainable Development*, 2023, vol. 21, pp. 100921. DOI: 10.1016/j.gsd.2023.100921
7. Adimalla N. Spatial distribution, exposure, and potential health risk assessment from nitrate in drinking water from semi-arid region of South India. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 2019, vol. 26, no. 2, pp. 310–334. DOI: 10.1080/10807039.2018.1508329
8. Jamaludin N., Sham S.M., Ismail S.N.S. Health risk assessment of nitrate exposure in well water of residents in intensive agriculture area. *American Journal of Applied Sciences*, 2013, vol. 10, no. 5, pp. 442–448. DOI: 10.3844/ajassp.2013.442.448
9. Zhang Q., Qian H., Xu P., Li W., Feng W., Liu R. Effect of hydrogeological conditions on groundwater nitrate pollution and human health risk assessment of nitrate in Jiaokou Irrigation District. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 298, pp. 126783. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126783
10. Schullehner J., Hansen B., Thygesen M., Pedersen C.B., Sigsgaard T. Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk: A nationwide population-based cohort study. *Int. J. Cancer*, 2018, vol. 143, no. 1, pp. 73–79. DOI: 10.1002/ijc.31306
11. Wang H., Lu K., Shen C., Song X., Hu B., Liu G. Human health risk assessment of groundwater nitrate at a two geomorphic units transition zone in northern China. *Journal of Environmental Sciences*, 2021, vol. 110, no. 3, pp. 38–47. DOI: 10.1016/j.jes.2021.03.013
12. Badr E.-S.A., Tawfik R.T., Alomran M.S. An Assessment of Irrigation Water Quality with Respect to the Reuse of Treated Wastewater in Al-Ahsa Oasis, Saudi Arabia. *Water*, 2023, vol. 15, no. 13, pp. 2488. DOI: 10.3390/w15132488
13. Aly A.A., Al-Omran A.M., Alharby M.M. The water quality index and hydrochemical characterization of groundwater resources in Hafar Albatin, Saudi Arabia. *Arab. J. Geosci.*, 2014, vol. 8, pp. 4177–4190. DOI: 10.1007/s12517-014-1463-2
14. Rajmohan N., Elango L. Nutrient chemistry of groundwater in an intensively irrigated region of southern India. *Environ. Geol.*, 2005, vol. 47, pp. 820–830. DOI: 10.1007/s00254-004-1212-z
15. Mamun A., Alazmi A.S. Advance application of liquid scintillation counter to estimate radon concentration in groundwater. *Arab. J. Geosci.*, 2023, vol. 17, pp. 34. DOI: 10.1007/s12517-023-11846-8
16. Mamun A. Evaluating groundwater residence time in arid aquifers: a crucial metric for monitoring sustainable water management. *Acque Sotteranee – Italian Journal of Groundwater*, 2024, vol. 13, no. 4. DOI: 10.7343/as-2024-755
17. Mamun A. Assessment of the annual effective dose and lifetime cancer risks associated with tritium in groundwater within different age groups. *HydroResearch*, 2025, vol. 8, pp. 41–48. DOI: 10.1016/j.hydres.2024.09.004
18. El-Taher A., Al-Turki A. Radon activity measurements in irrigation water from Qassim Province by RAD7. *J. Environ. Biol.*, 2016, vol. 37, no. 6, pp. 1299–1332.
19. El-Taher A.M., Abojassim A.A., Najam L.A., Mraity H.A.A.B. Assessment of Annual effective Dose for Different Age Groups based on Radon Concentrations in the Groundwater of Qassim, Saudi Arabia. *Iranian Journal of Medical Physics*, 2020, vol. 17, no. 1, pp. 15–20. DOI: 10.22038/ijmp.2019.37379.1476
20. Vincent P. Saudi Arabia: an environmental overview, 1st ed. London, CRC Press Publ., 2008, 339 p. DOI: 10.1201/9780203030882
21. Alsharhan A.S., Rizk Z.A., Nairn A.E.M., Bakhit D.W., Alhajari S.A. Hydrogeology of an Arid Region: The Arabian Gulf and Adjoining Areas. Amsterdam, Elsevier Publ., 2001.
22. Mamun A., Sharif H.O. Quantification of Nitrate Level in Shallow and Deep Groundwater Wells for Drinking, Domestic and Agricultural Uses in Northeastern Arid Regions of Saudi Arabia. *Limnological Review*, 2024, vol. 24, no. 3, pp. 178–191. DOI: 10.3390/limnolrev24030010

23. Vaiphei S.P., Kurakalva R.M. Hydrochemical characteristics and nitrate health risk assessment of groundwater through seasonal variations from an intensive agricultural region of upper Krishna River basin, Telangana, India. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 2021, vol. 213, pp. 112073. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112073
24. Chen J., Wu H., Qian H., Gao Y. Assessing Nitrate and Fluoride Contaminants in Drinking Water and Their Health Risk of Rural Residents Living in a Semiarid Region of Northwest China. *Exposure and Health*, 2017, vol. 9, pp. 183–195. DOI: 10.1007/s12403-016-0231-9
25. Al-Aizari H.S., Ghfar A.A., Al-Aizari A.R., Al-Aizari A.-J.M., Moshab M.S., Sillanpää M. Assessing Groundwater Quality and Diagnosing Nitrate Pollution in the Sidi Allal Region: A GIS-Based Approach Utilizing the Groundwater Pollution Index. *Hydrology*, 2023, vol. 10, no. 12, pp. 227. DOI: 10.3390/hydrology10120227
26. Yang M., Fei Y., Ju Y., Ma Z., Li H. Health risk assessment of groundwater pollution-A case study of typical city in North China plain. *J. Earth Sci.*, 2012, vol. 23, pp. 335–348. DOI: 10.1007/s12583-012-0260-7
27. Essien E.E., Abasse K.S., Côté A., Mohamed K.S., Baig M.M.F.A., Habib M., Naveed M., Yu X. [et al.]. Drinking-water nitrate and cancer risk: A systematic review and meta-analysis. *Arch. Environ. Occup. Health*, 2022, vol. 77, no. 1, pp. 51–67. DOI: 10.1080/19338244.2020.1842313
28. Adimalla N., Li P., Qian H. Evaluation of groundwater contamination for fluoride and nitrate in semi-arid region of Nirmal Province, South India: a special emphasis on human health risk assessment (HHRA). *Human and Ecological Risk Assessment*, 2018, vol. 25, no. 5, pp. 1107–1124. DOI: 10.1080/10807039.2018.1460579
29. Radfard M., Gholizadeh A., Azhdarpoor A., Badeenezhad A., Mohammadi A., Yousefi M. Health risk assessment to fluoride and nitrate in drinking water of rural residents living in the Bardaskan city, arid region, southeastern Iran. *Desalin. Water Treat.*, 2019, vol. 145, pp. 249–256. DOI: 10.5004/dwt.2019.23651
30. Mathialagan K.R.P., Mansor H.E., Mardhiya A., Kamal Z.A., Khan M.M.A. Groundwater quality assessment of domestic shallow dug wells in parts of Tanah Merah district, Malaysia. *Journal of Tropical Resources and Sustainable Science (JTRSS)*, 2018, vol. 6, pp. 62–67.
31. Alam I., Rehman J.U., Nazir S., Nazeer A., Akram M., Batool Z., Ullah H., Hameed A. [et al.]. Health risk assessment in different age-group due to nitrate, fluoride, nitrite and geo-chemical parameters in drinking water in Ahmadpur East, Punjab, Pakistan. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2021, vol. 27, no. 7, pp. 1747–1763. DOI: 10.1080/10807039.2021.1902264
32. El Mountassir O., Bahir M., Ouazar D., Chehbouni A., Carreira P.M. Temporal and spatial assessment of groundwater contamination with nitrate using nitrate pollution index (NPI), groundwater pollution index (GPI), and GIS (case study: Essaouira basin, Morocco). *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2022, vol. 29, no. 12, pp. 17132–17149. DOI: 10.1007/s11356-021-16922-8
33. Demir V., Ergin S. Occurrence and Assessment of Chemical Contaminants in Drinking Water in Tunceli, Turkey. *Journal of Chemistry*, 2013, vol. 2013, no. 1, suppl., pp. 238374. DOI: 10.1155/2013/238374

Mamun A. Nitrate pollution in northeastern Saudi Arabian groundwater: a multi-age group health risk assessment. *Health Risk Analysis*, 2026, no. 1, pp. 30–42. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.03.eng

Получена: 06.06.2025

Одобрена: 07.11.2025

Принята к публикации: 26.03.2026

УДК 57.045

DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.04

Читать
онлайн

Научная статья

ОЦЕНКА ВНЕШНЕСРЕДОВОГО РИСКА ЗДОРОВЬЮ В ЗОНЕ ГЕОТУРИЗМА «ГЛОБАЛЬНЫЙ ГЕОПАРК ЮНЕСКО ИДЖЕН», ИНДОНЕЗИЯ

Х. Хойрон¹, И. Маруфи¹, А.А. Акбар¹, Т.А. Оде¹, Р.Б. Антика¹, Р.П. Ридзкянто¹, Х. Али²

¹Университет Джембера, Индонезия, 68121, г. Джембер, ул. Калимантан, 37

²Университет генерала Судирмана, Индонезия, 53122, г. Пурвокерто, ул. Профессора Х.Р. Беньямин, 708

Целью данного исследования является оценка риска здоровью в Глобальном геопарке Юнеско Иджен (Ijen UNESCO Global Geopark, Ijen UGG), провинции Восточная Ява. Оценка выполнена для восьми достопримечательностей парка в регионе Бондовосо (Bondowoso): водопад Гентонган (Gentongan), кислотный поток Калипайт (Kalipait), пик Мегасари (Megasari), солнечный камень Сьон (So'on), Черная лава (Plalangan), горячий источник Блаван (Blawan), кратер Вурунг (Wuring) и приют Палтьюдинг (Paltuding). Риск здоровью был принят в качестве основной переменной, состоящей из четырех критериев: санитарный риск, операционный риск, риск нарушения безопасности посетителей и риск стихийных бедствий. Были выделены следующие категории риска здоровью: высокий (балльная оценка ≥ 217), умеренный (145–216 баллов), низкий (73–144 балла), отсутствие риска (балльная оценка ≤ 72). Данные были проанализированы методами описательной статистики.

Оценка внешнесредового санитарного риска обнаружила недостаток чистой воды, неоптимальный менеджмент отходов и недостаточное количество информационных щитов по гигиене и санитарии. Операционные риски были связаны с недостатком медицинской инфраструктуры, предупредительных знаков и информационных щитов. Риски для безопасности посетителей были связаны с небезопасными маршрутами, а риски стихийных бедствий связаны с возможностью пожаров, наводнений и ливневых паводков.

Наиболее высокие показатели санитарного риска были установлены для локации Калипайт; операционного риска – для водопада Гентонган. Наиболее высокие показатели риска для безопасности посетителей были установлены для этих же достопримечательностей. Более того, и самый высокий риск стихийного бедствия был установлен для потока Калипайт. Максимальные совокупные уровни риска здоровью были установлены для кислотного потока Калипайт (259 баллов), водопада Гентонган (246 баллов) и пика Мегасари (223 балла).

На основании оценки риска для геопарка Иджен большинство объектов в его пределах могут считаться безопасными, но те объекты, для которых был выявлен высокий риск, нуждаются в улучшении инфраструктуры с привлечением местного сообщества. По результатам оценки рисков сделаны выводы о целесообразности усиления мер по снижению идентифицированных рисков и информированию посетителей об их наличии. Для обеспечения безопасности посетителей необходимы образовательные программы и подготовка офицеров для работы в чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: внешнесредовой риск здоровью, риск здоровью, геолокации, парк Ijen UGG, геотуризм.

© Хойрон Х., Маруфи И., Акбар А.А., Оде Т.А., Антика Р.Б., Ридзкянто Р.П., Али Х., 2026

Хойрон Хойрон – академик, член Индонезийского союза здравоохранения, доктор наук в области гигиены окружающей среды, доцент, преподаватель кафедры гигиены окружающей среды факультета здравоохранения (e-mail: khoiron@unej.ac.id; тел.: +628 133 075-86-06; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7159-7997>).

Маруфи Иса – академик, член Индонезийского союза здравоохранения, доктор наук в области гигиены окружающей среды, доцент, преподаватель кафедры гигиены окружающей среды факультета здравоохранения (e-mail: isa.marufi.fkm@unej.ac.id; тел.: +628 133 047-77-14; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1147-2612>).

Акбар Абдул Азис – академик, преподаватель кафедры питания факультета здравоохранения (e-mail: asis.akbar@gmail.com; тел.: +628 525 595-65-39; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6034-648X>).

Оде Тауфан Асрисья – академик, член Индонезийского союза здравоохранения, преподаватель кафедры укрепления здоровья факультета здравоохранения (e-mail: ode.fkm@unej.ac.id; тел.: +628 114-122-406; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6006-9251>).

Антика Рули Бахью – академик, член Индонезийского союза здравоохранения, преподаватель кафедры питания факультета здравоохранения (e-mail: ruliantika.fkm@unej.ac.id; тел.: +628 112 288-89-96; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2195-085X>).

Ридзкянто Рико Пратама – академик, доцент, преподаватель кафедры гигиены окружающей среды факультета здравоохранения (e-mail: ricko.fkm@unej.ac.id; тел.: +628 123 511-74-07; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3876-2429>).

Али Хайдар – академик, доцент, преподаватель кафедры здравоохранения факультета медико-санитарных дисциплин (e-mail: khaidar.ali@unsoed.ac.id; тел.: +628 589 623-96-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8857-3003>).

Феномен растущего интереса к посещению туристических достопримечательностей отмечается во всем мире, включая Индонезию. Туристические походы – широко распространенный вид отдыха и расширения кругозора. Геотуризм – это туристическая деятельность, ориентированная на изучение людьми потенциала природных ресурсов при стремлении понять, сохранить и, нередко, улучшить природные объекты [1]. Как отмечают S. Kaugili et al. [2] и С.А. Ríos-Reyes et al. [3], геотуризм усиливает отличительный географический характер того или иного места, включая его наследие, эстетику и культуру. Геотуризм может стимулировать развитие экономики, а слияние различных характеристик и культурных аспектов территории может повысить ее привлекательность [2, 4].

Значительный объем туристической активности привел к позиционированию геопарков как предпочитаемого направления для туризма. Геопарки – это охраняемые государством территории, объединяющие локации с геологическим наследием, обладающие археологической, экологической и исторической ценностью [5]. Помимо этого, геопарк – это обширная территория с богатым природным ландшафтом, подходящая для геотуризма, экологического образования и развития местных сообществ [6]. Согласно Акту Министерства энергетики и природных ресурсов № 31 от 2021 г. по определению понятия «геопарк», геодостопримечательность может быть определена как объект геологического наследия на территории геопарка; она обладает определенными характеристиками, как индивидуальными, так и свойственными подобным объектам, и является неотъемлемой частью эволюции формирования региона. Потенциал геологического наследия требует устойчивого развития. Концепция геопарков как природоохранных территорий и областей культурного наследия формирует позитивную взаимосвязь между сохранением природы и социально-экономическим развитием [7].

Глобальный геопарк ЮНЕСКО Ijen (UGG) является территорией, характеризующейся определенными геологическими особенностями, археологической ценностью, биологическим разнообразием и культурным наследием. Местные сообщества принимают активное участие в охране природы и повышении качества окружающей среды. Парк Ijen UGG обладает международным признанием как один из глобальных геопарков ЮНЕСКО (UGG). Административные границы национального парка Ijen расположены в двух районах – в правлении Vanuwangi и частично в правлении Bondowoso, провинция Восточная Ява. Название Ijen происходит от горы Ijen, которая служит основанием всех геологических особенностей парка, а также его взаимосвязей с окружающими биологическими и культурными элементами.

На основании закона 2023 г. о создании рабочих мест организации, оказывающие услуги туризм-

ма, обязаны обеспечить комфорт, гостеприимство и безопасность туристов, а также обеспечить для них здоровую, чистую, красивую и устойчивую среду. Открытие геопарка для широкой публики означает увеличение взаимодействия между посетителями и окружающей средой. Вместе с тем зачастую взаимодействие посетителей с окружающей средой создает потенциальный риск их здоровью [5].

Для уменьшения риска экологического ущерба или вреда посетителям была поставлена задача анализа гигиены окружающей среды туристического региона Ijen UGG Bondowoso.

Цель анализа – определение потенциальных факторов риска для здоровья туристов и оценка воздействия этих факторов на людей.

Поскольку не все опасности, связанные с гигиеной окружающей среды, могут быть устранены полностью, оценки риска могут информировать лиц, принимающих решения, в части установления приоритетов, степени превышения приемлемых уровней риска и определения, насколько эффективно риск может быть снижен [8]. Результаты данного исследования могут явиться основой для улучшения охраны здоровья и безопасности посетителей, поскольку в его рамках определяются уровни внешне-средового санитарного риска, операционного риска, риска для безопасности граждан и риска стихийных бедствий в районах местоположения восьми достопримечательностей парка Ijen UGG.

Материалы и методы. Данное исследование является количественным и перекрестным. Оно было проведено в парке Ijen UGG в районе Bondowoso, Индонезия, для восьми достопримечательностей: 1) водопад Gentongan, 2) кислотный поток Kalipait, 3) пик Megasari, 4) солнечный камень So'on, 5) Черная лава Plalangan, 6) горячий источник Blawan 7) кратер Wurung и 8) приют Paltuding.

Парк Ijen UGG – это вулканический геопарк, известный своими уникальными геологическими особенностями, включая активные вулканы, горячие источники, залежи серы и горный ландшафт. Он является привлекательным для геотуризма благодаря разнообразным пейзажам и возможностям для экотуризма. Восемь выбранных локаций отличаются разнообразными природными и геологическими условиями, и некоторые из них могут формировать потенциальные риски для посетителей. Например, кислотный поток Kalipait и горячий источник Blawan известны своей кислотной и геотермальной активностью, а доступ к водопаду Gentongan и солнечному камню So'on возможен только по крутым и скользким дорожкам, что может создать риск физической безопасности.

Риск здоровью являлся основной переменной в данном исследовании. Он измерялся с использованием листа наблюдения, где оценка производилась по четырем его составляющим, а именно: санитарному риску (17 компонентов), операционному риску (18 компонентов), риску для безопасности посетите-

лей (7 компонентов) и риску стихийных бедствий (6 компонентов).

Данные были получены при помощи использования структурированного листа наблюдения, разработанного на основании национальных рекомендаций по гигиене окружающей среды и адаптированного для контекста геотуризма. Обученные исследователи провели оценку на месте в рамках одного и того же периода для обеспечения последовательности. Дополнительная информация была получена посредством коротких интервью с менеджерами на местах и обзора соответствующих документов для оценки достоверности полученных результатов.

Результаты оценки при помощи листа наблюдения приводятся в численных баллах и классифицируются как высокий риск (≥ 217 баллов), умеренный риск (145–216 баллов), низкий риск (73–144 балла) и отсутствие риска (≤ 72 баллов).

После завершения сбора данных обученными исследователями результаты были введены в Microsoft Excel для анализа. Каждому листу была дана оценка согласно критериям наличия информации, ее адекватности или отсутствия связанных с риском элементов по четырем компонентам: санитарный риск, операционный риск, риск для безопасности посетителей и риск стихийных бедствий. Общая балльная оценка для каждой локации подсчитывалась путем суммирования баллов по каждому компоненту.

Описательный статистический анализ был проведен для обобщения распределения уровней риска по достопримечательностям и для определения, какой из компонентов риска вносил наиболее значительный вклад для каждой из них. Данные представлены в виде таблиц и гистограмм.

Результаты и их обсуждение. В данном разделе представлены результаты анализа данных для показателей, оцененных в рамках анализа внешнесредового риска здоровью в зоне геотуризма Глобальный Геопарк Юнеско Иджен, Индонезия.

Внешнесредовой санитарный риск. На рис. 1 показано, что наиболее высокий уровень санитарного риска был выявлен для кислотного потока Kalipait, за которым последовали водопад Gentongan и пик Megasari. Результаты наблюдения указывают, на то, что высокие уровни риска обусловлены несколькими факторами, включая неадекватную инфраструктуру обеспечения чистой водой, недостаточно эффективную утилизацию отходов и отсутствие информационных щитов по гигиене и санитарии окружающей среды.

Операционные риски. Как показано на рис. 2, наиболее высокий уровень операционного риска был выявлен для водопада Gentongan, за которым последовали кислотный поток Kalipait и пик Megasari. На основании результатов наблюдений данный риск обусловлен несколькими факторами, такими как неадекватная операционная инфраструктура или ее отсутствие, например, посты охраны или

медпункты. Отмечен явный дефицит предупреждающих и запрещающих знаков, а также явный недостаток огнетушителей.

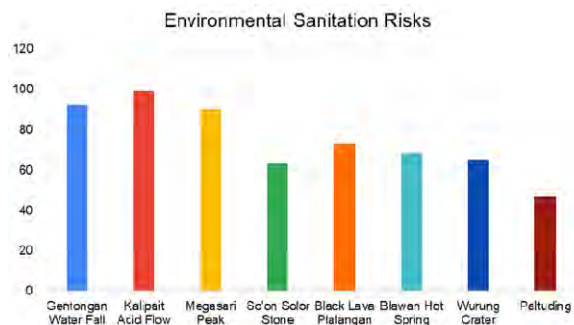


Рис. 1. Внешнесредовой санитарный риск в парке Ijen UGG

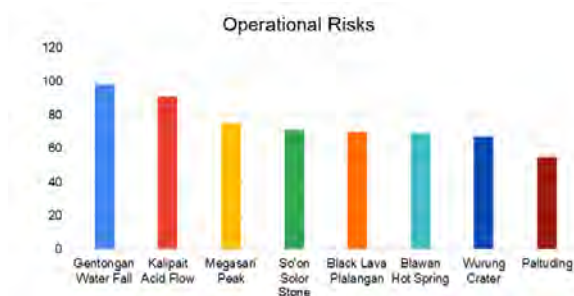


Рис. 2. Операционные риски в парке Ijen UGG

Риски для безопасности посетителей. Очевидно, что водопад Gentongan и кислотный поток Kalipait являются достопримечательностями с самым высоким уровнем риска нарушения безопасности посетителей (рис. 3). Согласно результатам наблюдений, эти риски формируются под воздействием нескольких факторов, таких как плохое качество дорог и маршрутов, опасных и трудных для использования. Состояние маршрутов и территории связано с риском несчастных случаев, таких как падение камней, опасность споткнуться или поскользнуться.

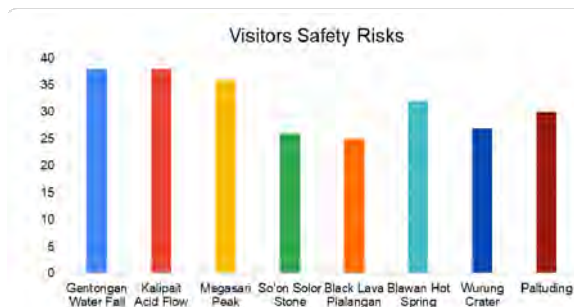


Рис. 3. Риски для безопасности посетителей в парке Ijen UGG

Риски стихийных бедствий. Риск стихийных бедствий в парке Ijen UGG показан на рис. 4. Очевидно, что наиболее высокий уровень такого риска отмечен в окрестностях кислотного потока Kalipait. На основании результатов наблюдений отмечается,

что риски возможных стихийных бедствий связаны с возникновением пожаров, оползней, наводнений, паводков и торнадо.

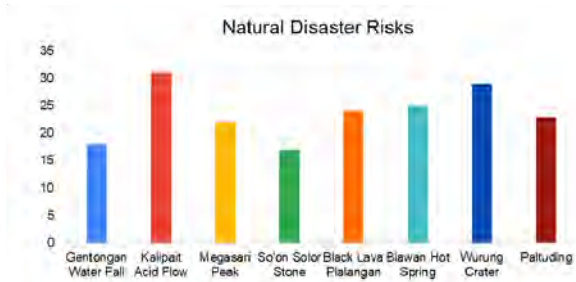


Рис. 4. Риски стихийных бедствий в парке Ijen UGG

Риски здоровью. На основании результатов проведенной оценки присвоены категории рисков здоровью в парке Ijen UGG, и их уровень в целом определен как относительно безопасный. Результаты суммарной оценки приведены в таблице и на рис. 5.

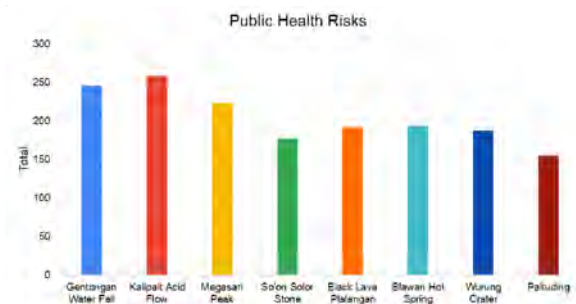


Рис. 5. Риски здоровью в парке Ijen UGG

К достопримечательностям с самым высоким уровнем суммарного риска здоровью отнесены кислотный поток Kalipait, водопад Gentongan и пик Megasari. Эти риски определены на основании показателей, связанных с санитарным риском, операционным риском, риском для безопасности посетителей и рисками стихийных бедствий.

Риски для здоровья определены как сумма четырех вышеупомянутых компонентов.

Как показано в таблице, четыре достопримечательности попали в категорию в некоторой степени рискованных для посещения, две – рискованных (умеренный риск), а оставшиеся две можно считать опасными для посещения (высокий риск).

Внешнесредовые санитарные риски. В целом оценка санитарной ситуации опиралась на такие показатели, как доступность чистой воды для питья и бытового использования, современных туалетов, средств и пунктов гигиены, обращение с отходами туристической деятельности и санитарная уборка заведений общественного питания в местах скопления туристов.

Обеспечение чистой водой и адекватная санитария могут усиливать чувство комфорта у посетителей. Их наличие снижает тревогу касательно здоровья, вселяя чувство уверенности и удовлетворенности у посетителей [9]. Необходимо позиционировать охрану здоровья посетителей таким образом, чтобы они прилагали усилия по охране окружающей среды парка. Это может быть достигнуто при помощи постеров и письменных обращений поставщиков туристических услуг [10]. В исследовании А. Álvarez-Sánchez et al. [11] говорится, что внедрение санитарных протоколов и инфраструктуры вблизи туристических достопримечательностей является необходимым условием обеспечения безопасности и удовлетворенности туристов, поддерживая таким образом более здоровую модель туризма.

Загрязнение окружающей среды в геопарках может быть вызвано туристической активностью и неадекватной инфраструктурой [6]. Накапливающиеся отходы, ненадлежащая утилизация отходов и выбросы углерода ухудшают качество воды и воздуха. Для сохранения природных ресурсов без отказа от туризма как отрасли требуется разработка грамотной политики поставщиками туристических услуг [12]. Неадекватный или ненадлежащий менеджмент отходов может способствовать выживанию и распространению возбудителей болезней, причинить косвенный вред здоровью и окружающей среде и привести к загрязнению воды, воздуха и почвы [13]. Приток туристов может быть обоюдоострым мечом, с одной стороны, действуя как стимул экономического развития, но, с другой стороны, создавая большой риск загрязнения окружающей среды по причине генерирования больших объемов отходов туристической деятельности. Менеджмент отходов должен быть в приоритете для каждой группы заинтересованных лиц [14].

Риск здоровью в парке Ijen UGG

Достопримечательность	Балльная оценка риска				Балл	Уровень риска
	Санитарный	Операционный	Безопасность	Стихийные бедствия		
Водопад Gentongan	92	98	38	18	246	Высокий
Kalipait кислотный поток	99	91	38	31	259	Высокий
Megasari пик	90	75	36	22	223	Умеренный
So'on солнечный камень	63	71	26	17	177	Низкий
Черная лава Plalangan	73	70	25	24	192	Низкий
Blawan горячий источник	68	69	32	25	194	Умеренный
Wungung кратер	65	67	27	29	188	Низкий
Paltuding приют	47	55	30	23	155	Низкий

Еда и напитки являются одной из самых первичных потребностей. В местах скопления туристов важно наличие мест, где их можно приобрести. Санитария мест общественного питания является одним из важных аспектов обеспечения здоровья и безопасности потребления для посетителей [15]. Помимо этого, закусочные и гостиницы являются местами особенно тесного взаимодействия с посетителями. Надлежащая санитарная обработка этих мест стимулирует желание остаться в них подольше [16].

Согласно результатам нашего исследования, гигиена окружающей среды в парке Ijen UGG не может считаться удовлетворительной. Основные проблемные области включают в себя неадекватное обеспечение чистой водой и мылом в большинстве мест для туристов, неадекватный менеджмент отходов, включая отсутствие регулярного вывоза отходов, а сортировка и переработка мусора до сих пор не внедрены повсеместно. Информационные щиты с просьбой поддерживать чистоту, а также точки продажи пищи с достаточным качеством санитарной обработки отмечены в нескольких локациях. Все заинтересованные стороны, включая менеджмент турфирм, правительство и посетителей, должны принять на себя роль и ответственность защитников окружающей среды путем положительного взаимодействия в сфере туризма [17].

Операционные риски. Операционные риски были оценены в данном исследовании с применением таких компонентов, как управление персоналом, операционная информация, организации здравоохранения и обеспечения безопасности, инфраструктура поддержки, система знаков и инструкций. Доступность данных компонентов помогает посетителям оставаться в безопасности при посещении парка [18]. Геопарки, как правило, функционируют как объекты культурного и исторического наследия. Наличие информационных щитов обладает образовательной ценностью для туристов; пояснения должны быть легки для понимания и восприятия посетителями, а также опираться на интересные описания [19].

Медпункты в местах скопления туристов являются необходимостью, поскольку всегда существует вероятность несчастных случаев или травм, таких как падения [10]. Туристические территории парка Ijen UGG не имеют медицинских пунктов или аптек первой помощи; огнетушители также доступны не на каждой обследованной территории. Большинство достопримечательностей расположено в непосредственной близости от медицинских организаций на среднем удалении не более 1–5 км. Согласно исследованию [5], ресурсы общественной безопасности, ограниченные местами скопления туристов, формируют у них чувство неуверенности. Огнетушители и меры техники безопасности должны быть подготовлены менеджментом во избежание чрезвычайных ситуаций [17]. Восприятие туристами

территории как безопасной играет ключевую роль при выборе места путешествия и продолжительности визита [20].

Структура маршрутов эвакуации и высокое качество систем спасения важны для геологических достопримечательностей, поскольку они основаны на природном ландшафте. Основная цель – минимизировать количество несчастных случаев по причине неожиданных стихийных бедствий. В модели возможностей для отдыха инфраструктура для разрешения туристов и их сопровождения к туристическим центрам считается стимулом привлекательности достопримечательности для туристов [21]. Территории с высокой привлекательностью для туристов, доступные и с развитой инфраструктурой – основное требование в развитии геопарков, в особенности с целью улучшения региональной экономической ситуации [22]. Помимо готовности инфраструктуры, необходимо подготовить человеческие ресурсы, такие как охрану или инспекторов парка, поскольку повышение их качества является залогом успешного развития парка [23].

Обеспечение охраной в парке Ijen UGG может считаться вполне адекватным. Руководство имеет тесные контакты с местным сообществом. Охрана из представителей этого сообщества присутствует у каждой достопримечательности, как правило, в количестве одного человека. При наличии большого потока туристов число охранников увеличивается. Отсутствие вовлеченности местного сообщества и развития человеческих ресурсов в управлении туристической достопримечательностью может помешать осуществлению природоохранной деятельности, разрушая важную туристическую ценность геопарка – его экологическое качество [24].

Доступность эвакуационных маршрутов и мест для сбора в случае чрезвычайной ситуации в парке Ijen является вполне адекватной. Как правило, эвакуационный маршрут представляет собой вымощенную дорогу или, по крайней мере, тропу. Знаки и указатели доступны на всех изученных территориях. Для снижения риска экологического ущерба необходимо отдавать приоритет ограничению доступа, а также выдаче разрешений на посещение после оценки условий безопасности, существующих на территории. Основной целью является минимизация разрушений [25].

Установка заграждений и предупреждающих знаков является еще одним способом снижения риска [18]. Наличие соответствующей информации, предупреждающие знаки, внедрение жестких правил посещения и регулярное наблюдение помогут снизить уровень угроз для посетителей [26]. Направления, беспрепятственный обзор и обстановка вокруг достопримечательности влияют на восприятие ее безопасности туристами [5].

Риски для безопасности посетителей. Компоненты для оценки риска для безопасности посети-

телей, как правило, включают несчастные случаи, такие как падения, удары, соскальзывания или столкновения с животными. Еще один компонент – это меры предосторожности, за соблюдением которых следит менеджмент парка. Геологические туристические достопримечательности представляют собой места, в которых велика опасность частых несчастных случаев и даже смертей; любая туристическая активность на таких территориях связана с риском травм или других неблагоприятных последствий [18]. В.А. Wyler et al. [27] отмечали, что травмы являлись причиной примерно 25 % смертельных случаев среди туристов, это свидетельствует, что туристы являются группой более высокого риска здоровью, по сравнению с теми, кто предпочитает домашний досуг (RR: 1,04–16,7).

Скользкие и влажные тропы в пределах парка, создают повышенные риски для здоровья в сезон дождей или повышенной влажности. Более того, если посетители не обращают внимания на местные условия и не используют адекватное оборудование для обеспечения безопасности, в особенности обувь, они подвергаются высокому риску поскользнуться и получить травму [26]. Помимо создания некомфортных и антисанитарных условий, стоячая вода увеличивает вышеупомянутый риск [10]. Поэтому необходимо приложить все усилия, чтобы минимизировать риск поскользнуться для туристов. Более того, руководство парка должно предусмотреть необходимое оборудование и удобства для инвалидов, чтобы обеспечить им равный доступ к достопримечательностям. В долине Чочоловска туристические маршруты разработаны таким образом, чтобы обеспечить доступ людям с ограниченными физическими возможностями, минимизируя риск поскользнуться и упасть за счет наличия ровных заасфальтированных туристических троп [28].

На основании результатов наблюдений и оценки рисков для безопасности посетителей их уровень в парке Ijen UGG определен как всё еще относительно высокий. Большинство достопримечательностей парка расположено в холмистой местности, что создает высокий риск падения, в особенности по причине отсутствия ограждений вдоль обрывов. Эти результаты совпадают с выводами S. Permanadewi et al. [29], это указывает, что природный ландшафт парка Ijen может создавать повышенный риск падений, в особенности в местах скопления туристов. Доступ к некоторым достопримечательностям до сих пор возможен только по крутым тропам, во многих местах заросшим кустами.

Риск стихийных бедствий. Для оценки риска стихийных бедствий использовались такие показатели, как вероятность пожаров, оползней, наводнений, землетрясений, ливневых паводков и торнадо. Природный ландшафт геопарка Ijen UGG Geosite – это высокогорье, окруженное холмами, с территориями с обильной растительностью. Деревья и трава

могут загореться, если не соблюдать адекватные меры безопасности. Пожары не только несут серьезную угрозу здоровью и окружающей среде, но и грозят уничтожением мест обитания и кормовой базы фауны, обитающей в парке [30]. Данное исследование проводилось во время сухого сезона, и в процессе сбора данных было обнаружено, что пожары возникали в окрестностях большинства изучаемых достопримечательностей. Как правило, пожар затрагивал траву, но не добирался до деревьев.

Геологические катастрофы могут нанести серьезный экологический ущерб. Для минимизации возможных потерь необходимо принятие мер предосторожности, с учетом того, что риск стихийных бедствий не может быть устранен полностью [31]. Фактически такие виды деятельности человека, как добыча полезных ископаемых и урбанизация, усиливают эффект геологических катастроф [32, 33]. Недостаточно простого знания внутри сообщества о том, как смягчить последствия. Необходимо его активное участие в процессе подготовки к подобным бедствиям, что повышает осознанность действий и вероятность правильного реагирования на потенциальное бедствие [34]. Исследование, проведенное в Малайзии, показало, что подход к управлению рисками стихийных бедствий с вовлечением сообщества усиливал его устойчивость и сопротивляемость [35]. Роль официальных лиц в реагировании на чрезвычайную ситуацию является решающей. Туристы не обладают всей информацией, как следует реагировать на такие ситуации. Сотрудники парка должны организовать официальную эвакуацию в случае стихийного бедствия, поэтому их необходимо обучать тому, как управлять риском стихийных бедствий [36]. В исследовании С. Husna et al. [37] отмечается, что программы обучения повышают готовность персонала, обеспечивая их навыками эффективного реагирования на стихийные бедствия, объединяя наличие необходимых знаний о системах предупреждения и реагирования на чрезвычайные ситуации.

Такие достопримечательности, как реки и водопады, связаны с риском стихийных бедствий, например, наводнений и ливневых паводков. Кислотный поток Asam Kalipait и водопад Gentongan – это достопримечательности с высоким риском наводнения, даже при сравнительно небольшом размере рек в каждом из этих мест. Однако при наличии обильных осадков возможно возникновение ливневых паводков. Этот риск можно снизить внедрением системы раннего предупреждения, чтобы сотрудник парка мог закрыть территорию при возникновении угрозы [38]. В исследовании M.R. Al Farabi и A. Sintawati [39] отмечается, что современные системы раннего оповещения могут быть оптимизированы при помощи применения технологии Интернета вещей (IoT (Internet of Things)). Более 90 % геопарков UNESCO являются территориями с наличием риска хотя бы одного стихийного бедствия, в особенности земле-

трясений и оползней, которые действительно являются наиболее частыми угрозами [40]. Помимо этого, необходим динамический мониторинг изменений внешней среды с целью предотвращения стихийных бедствий, являющихся последствиями антропогенной деятельности. Подобный мониторинг должен включать обращение с отходами, развитие инфраструктуры и образовательную деятельность, направленную на местное сообщество и туристов¹.

Результаты оценки рисков здоровью в парке Ijen UGG. В данном исследовании изучены основные риски здоровью для различных достопримечательностей в пределах парка Ijen UGG, в частности, кислотного потока Kalipait, водопада Gentongan и пика Megasari, где наиболее выраженными являются все выделенные риски, включая санитарные, операционные, риски для безопасности посетителей и риски стихийных бедствий. Результаты данного исследования подчеркивают необходимость улучшения инфраструктуры, оборудования медицинских учреждений, внедрения стратегий по снижению рисков, а также расширение программ обучения, включая реагирование на чрезвычайные ситуации. Всё вышеуказанное необходимо для обеспечения безопасности посетителей, развития туризма и долгосрочной охраны окружающей среды и здоровья туристов, посещающих геопарк.

Выводы. На основании оценки гигиены окружающей среды, операционных рисков, рисков для безопасности посетителей и рисков стихийных бедствий в парке Ijen UGG территория большинства достопримечательностей может считаться безопасной, но некоторые из них всё же были оценены

как территории высокого риска здоровью. Факторы санитарного, операционного, риска для безопасности посетителей и риска стихийных бедствий требуют серьезного внимания и усилий со стороны руководства парка. Меры по снижению риска, улучшение инфраструктуры, а также повышение осведомленности населения и большее вовлечение местного сообщества необходимы для поддержания устойчивости окружающей среды и охраны здоровья населения в контексте туристической деятельности в парке.

Для управления данными рисками требуются определенные улучшения, включающие: (1) развитие санитарной инфраструктуры, такой как доступ к чистой воде и совершенствование системы обращения с отходами; (2) улучшение операционных элементов путем обеспечения адекватной медицинской инфраструктуры, системы указательных и предупреждающих знаков; (3) обеспечение безопасности посетителей путем повышения качества маршрутов и обеспечения мер предосторожности; (4) разработку планов действий на случай стихийного бедствия, в особенности для территорий, подверженных наводнениям, оползням и извержениям вулкана. Для поддержания данных усилий необходимо вовлечение сообщества, регулярный мониторинг рисков и развитие компетенций всех заинтересованных сторон, включая руководство парка.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Novarlia I. A Study of Environmentally-Sound Geotourism Potential in Sumedang Regency // *Interdisciplinary Social Studies*. – 2023. – Vol. 2, № 5. – P. 1945–1952. DOI: 10.55324/iss.v2i5.410
2. Geotourism: Some Examples from Turkey / S. Kaygili, D. Sinanoglu, E. Aksoy, A. Sasmaz // *J. Geol. Geogr. Geocology*. – 2018. – Vol. 26, № 1. – P. 79–87. DOI: 10.15421/111809
3. Ríos-Reyes C.A., Manco-Jaraba D.C., Castellanos-Alarcón O.M. Geotourism in caves of Santander as a novel strategy for the protection of natural and cultural heritage associated to underground ecosystems // *Biodiversity Int. J.* – 2018. – Vol. 2, № 5. – P. 464–474. DOI: 10.15406/bij.2018.02.00101
4. Identification of Geodiversity And Evaluation of Geosites to Determine Geopark Themes of the Karangsambung-Karangbolong National Geopark, Kebumen, Indonesia / C. Ansori, N.I. Setiawan, I.W. Warmada, H. Yogaswara // *International Journal of Geoheritage and Parks*. – 2022. – Vol. 10, № 1. – P. 1–15. DOI: 10.1016/j.ijgeop.2022.01.001
5. Environmental Safety Evaluation of Geopark Based on CPTED Concept and Fuzzy Comprehensive Analysis / G. Chen, S. Zhang, B. Yan, S. Miao // *PLoS One*. – 2021. – Vol. 16, № 11. – P. e0260316. DOI: 10.1371/journal.pone.0260316
6. Mikhailenko A.V., Yashalova N.N., Ruban D.A. Environmental Pollution in Geopark Management: A Systematic Review of the Literary Evidence // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – 2022. – Vol. 19, № 8. – P. 4748. DOI: 10.3390/ijerph19084748
7. Developing Geotourism as Part of Sustainable Development at Ciletuh Sukabumi, West Java, Indonesia / A.K. Yuliawati, M.S.D. Hadian, A. Rahayu, R. Hurriyati // *Journal of Environmental Management and Tourism*. – 2016. – № 01 (13). – P. 57–62.
8. Widening the Understanding of Risk Approaches by Comparing Definitions from Different Disciplines / G. Berg-Beckhoff, P. Wiedemann, B. Ádám, J. Schütz, K.B. Ølgaard, P.T. Andersen, S.N. Kabwama, J.B. Nielsen // In book: *Knowledge Management Strategies and Applications* / ed. by M. Mohiuddin, N. Halilem, S.M.A. Kobir, C. Yuliang. – InTech, 2017. DOI: 10.5772/intechopen.70074

¹ What measures are carried out to protect geosites and infrastructure against damage and natural degradation? [Электронный ресурс] // Tianzhushan UNESCO Global Geopark. – URL: <http://english.tzsgy.com/Geosites.aspx?id=649> (дата обращения: 09.01.2024).

9. Collaborative mapping on sustainable development goals in Latin America UNESCO Global Geopark: A methodological discussion / E.M. Rosado-González, J.M.M. Lourenço, J.L. Palacio-Prieto, A.A. Sá // *International Journal of Geoheritage and Parks*. – 2023. – Vol. 11, № 2. – P. 203–220. DOI: 10.1016/j.ijgeop.2023.02.002
10. Environmental Health Assessment of Tourism Area After the Covid-19 Pandemic / R.M. Sari, E. Niha, U. Agustina, N.A. Tianingrum // *Journal of Global Research in Public Health*. – 2022. – Vol. 7, № 2. – P. 152–158. DOI: 10.30994/jgrph.v7i2.409
11. Álvarez-Sánchez A., Rojas-Lara G.A., Vaca-González E. The Impact of Health and Wellness Tourism on Tourists' Physical, Mental, and Emotional Balance // *Advances in Tourism, Technology and Systems: Selected Papers from ICOTTS 2023*. Volume 1. – 2024. – P. 539–548. DOI: 10.1007/978-981-99-9765-7_47
12. Green Tourism Regulation on Sustainable Development: Droning from Indonesia and China / A.K. Jaelani, M.J. Hayat, R.D. Luthviati, S. Al-Fatih, M.M. Mujib // *Journal of Indonesian Legal Studies*. – 2023. – Vol. 8, № 2. – P. 2. DOI: 10.15294/jils.v8i2.72210
13. Integrated Models for Solid Waste Management in Tourism Regions: Langkawi Island, Malaysia / E. Shamshiry, B. Nadi, M. Bin Mokhtar, I. Komoo, H. Saadiah Hashim, N. Yahaya // *J. Environ. Public Health*. – 2011. – Vol. 2011. – P. e709549. DOI: 10.1155/2011/709549
14. Singer J., Kieu K.T., Pravitasari A.E. Solid Waste Management in Tourist Destinations in Developing Nations: Case Studies in Hoi An, Vietnam, and Puncak, Indonesia // In book: *Environmental Sustainability and Education for Waste Management* / ed. by W.W.M. So, C.F. Chow, J.C.K. Lee. – Singapore: Springer, 2019. – P. 189–206. DOI: 10.1007/978-981-13-9173-6_11
15. Who Gets The Benefits of Geopark Establishment? A Study of Batur Geopark Area, Bali Province, Indonesia / S. Sagala, A. Rosyidie, M.A. Sasongko, M.M. Syahbid // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2018. – Vol. 158, № 1. – P. 012034. DOI: 10.1088/1755-1315/158/1/012034
16. Yani A., Mulyadi A., Rosita R. Understanding And Perception of Tourism Aware Groups on CHSE (Clean, Health, Safety & Environmental Sustainability) Implementation In Ciletuh Geopark Area, Palabuhanratu // *Jurnal Samudra Geografi*. – 2022. – Vol. 5, № 1. – P. 1–9. DOI: 10.33059/jsg.v5i1.4784
17. Evaluation of the environmental costs of tourism based on an emergy analysis of tourism waste disposal: A case study of Yarlung Zangbo Grand Canyon National Park in Motuo County, Tibet / X. Xu, C. Feng, D. Zhen, Y. Tan, Q. Lai // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* – 2021. – Vol. 28. – P. 32708–32720. DOI: 10.1007/s11356-021-12829-6
18. Gstaettner A.M., Rodger K., Lee D. Managing the safety of nature? Park visitor perceptions on risk and risk management // *Journal of Ecotourism*. – 2022. – Vol. 21, № 3. – P. 246–265. DOI: 10.1080/14724049.2021.1937189
19. Jia Z., Wu F., Hou D. Geodiversity, Geotourism, Geoconservation, and Sustainable Development in Longyan Aspiriring Geopark (China) // *Geoheritage*. – 2022. – Vol. 15, № 1. – P. 11. DOI: 10.1007/s12371-022-00784-8
20. Šerić N., Jakšić Stojanović A., Bagarić L. The Influence of the Security Perception of a Tourist Destination on Its Competitiveness and Attractiveness // *Proceedings of the Faculty of Economics in East Sarajevo*. – 2022. – Vol. 11, № 24. – P. 33–44. DOI: 10.7251/ZREFIS22240363S
21. An Emerging Paradigm for the UNESCO Global Geoparks: The Ecosystem's Health Provision / R. Gabriel, H. Moreira, A. Alenção, A. Faria, E. Silva, A. Sá // *Geosciences*. – 2018. – Vol. 8, № 3. – P. 100. DOI: 10.3390/geosciences8030100
22. Management of the Batur Geopark as Geological Conservation Basis / S.D. Hadian, B.R. Suganda, K.A. Fachrudin, C.Y. Sunarie, N. Barkah // *Journal of Geological Sciences and Applied Geology*. – 2022. – Vol. 6, № 1.
23. Creative strategies of local resources in managing geotourism in the Ijen UGG Bondowoso, East Java, Indonesia / I.K. Mastika, S.S. Harsono, W. Khristianto, P. Oktawirani, P.S. Hutama // *International Journal of Geoheritage and Parks*. – 2023. – Vol. 11, № 1. – P. 149–168. DOI: 10.1016/j.ijgeop.2023.01.002
24. Zuvara R.A., Herdiansyah H., Asteria D. Environmental Conservation in Ciletuh Geopark, West Java // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2022. – Vol. 1041. – P. 012043. DOI: 10.1088/1755-1315/1041/1/012043
25. Suzuki D.A., Takagi H. Evaluation of Geosite for Sustainable Planning and Management in Geotourism // *Geoheritage*. – 2017. – Vol. 10, № 1. – P. 123–135. DOI: 10.1007/s12371-017-0225-4
26. Geotourism Hazards and Carrying Capacity in Geosites of Sangkulirang-Mangkalihat Karst, Indonesia / A. Sunkar, A.P. Laksapriyanti, E. Haryono, M. Brahma, P. Setiawan, A.F. Jaya // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14, № 3. – P. 1704. DOI: 10.3390/su14031704
27. Risk of deaths due to injuries in travellers: a systematic review / B.A. Wyler, H.M. Young, S.W. Hargarten, J.D. Cahill // *J. Travel Med.* – 2022. – Vol. 29, № 5. – P. taac074. DOI: 10.1093/jtm/taac074
28. Valorization of Geosites in Western Tatra Mountains (Chochołowska Valley) with Focus on Tourist Activity of People with Physical Disabilities / A. Ciurej, A. Chrobak-Zuffova, A. Wolska, S. Kowalik Filipowicz // *Studies of the Industrial Geography Commission of the Polish Geographical Society*. – 2019. – Vol. 33, № 3. DOI: 10.24917/20801653.333.10
29. Quantitative assessment for geosites of the Ijen Geopark in Banyuwangi Regency, East Java, Indonesia / S. Permadewi, H. Samodra, R. Irzon, A. Prabowo, C. Ansori // *International Journal of Geoheritage and Parks*. – 2024. – Vol. 12, № 1. – P. 63–74. DOI: 10.1016/j.ijgeop.2024.01.003
30. Cahyadi H.S., Newsome D. The post COVID-19 tourism dilemma for geoparks in Indonesia // *International Journal of Geoheritage and Parks*. – 2021. – Vol. 9, № 2. – P. 199–211. DOI: 10.1016/j.ijgeop.2021.02.003
31. Sucipto B.S., Mulyati Y.M. Manajemen Risiko Bencana Geologi // *KarismaPro*. – 2021. – Vol. 11, № 2. – P. 14–26. DOI: 10.53675/karismapro.v2i2.93
32. Hait M., Sahu P. Natural Hazards as a Source of Environmental Pollution in the Global South // In book: *Biomonitoring of Pollutants in the Global South*. – Singapore: Springer Nature, 2024. – P. 153–190. DOI: 10.1007/978-981-97-1658-6_5
33. Environmental geology and hydrology / Z. Nakić, M. Mileusić, K. Pavlič, Z. Kovač // *Physical Sciences Reviews*. – 2017. – Vol. 2, № 10. – P. 20160119. DOI: 10.1515/psr-2016-0119
34. Factors contributing to Participation in Community-led DRR Programmes in Malaysia / M.K. Halim Bashah, B. Muhammad, A. Shamsuddin, N. Shaza, R. Abdullah, K.H. Kamarudin, K. Lumpur, J. Sultan, Y. Petra // *Disaster Advances*. – 2024. – Vol. 17, № 8. – P. 41–48. DOI: 10.25303/178da041048
35. The Risk Perception Paradox – Implications for Governance and Communication of Natural Hazards / G. Wachinger, O. Renn, C. Begg, C. Kuhlicke // *Risk Anal.* – 2013. – Vol. 33, № 6. – P. 1049–1065. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2012.01942.x

36. Bird D.K., Gisladottir G., Dominey-Howes D. Volcanic Risk and Tourism in Southern Iceland: Implications for Hazard, Risk and Emergency Response Education and Training // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2010. – Vol. 189, № 1–2. – P. 33–48. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2009.09.020
37. Disaster preparedness among disaster management agency officers: a study from rural and urban areas in Aceh, Indonesia / C. Husna, R. Firdaus, E. Wardani, S.R. Jannah // International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment. – 2022. – Vol. 13, № 4. – P. 484–497. DOI: 10.1108/IJDRBE-02-2021-0015
38. Qadaryati N., Pambudi Y.R., Winarno T. Geohazard Risk Management on Geotourism, Case Study: Pindul Cave, Gunung Kidul – Yogyakarta // Proceeding of the 5th International Conference of Geological Engineering Faculty. – 2021. – Vol. 1, № 1. – P. 10–17. DOI: 10.17501/27838625.2020.1102
39. Al Farabi M.R., Sintawati A. Flood early warning system at Jakarta dam using internet of things (IoT)-based real-time fishbone method to support industrial revolution 4.0 // Journal of Soft Computing Exploration. – 2024. – Vol. 5, № 2. – P. 99–106. DOI: 10.52465/jossex.v5i2.293
40. Pavlova I. Disaster risk reduction at UNESCO Global Geoparks and Biosphere Reserves // Journal of World Heritage Studies. – 2019. – № 2019, Special issue. – P. 73–77. DOI: 10.15068/00157689

Оценка внешнесредового риска здоровью в зоне геотуризма «Глобальный геопарк ЮНЕСКО Иджен», Индонезия / X. Khoiron, I. Ma'rufi, A.A. Akbar, T.A. Ode, P.B. Antika, P.P. Ridzkyanto, X. Ali // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 43–53. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.04

UDC 57.045

DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.04.eng



Research article

ENVIRONMENTAL HEALTH RISK ANALYSIS ON GEOTOURISM DESTINATION AT IJEN UNESCO GLOBAL GEOPARK – INDONESIA

Kh. Khoiron¹, I. Ma'rufi¹, A.A. Akbar¹, T.A. Ode¹, R.B. Antika¹, R.P. Ridzkyanto¹, Kh. Ali²

¹University of Jember, 37 Kalimantan Str., Jember, 68121, Indonesia

²Jenderal Soedirman University, 708 Profesor DR. HR Boenyamin Str., Purwokerto, 53122, Indonesia

This study aims to analyze health risks in the Ijen UNESCO Global Geopark (UGG). This quantitative study was conducted in eight sites of Ijen UGG in Bondowoso Region (Gentongan water fall, Kalipait acid flow, Megasari peak, So'on solor stone, Black lava plalangan, Blawan hot spring, Wurung crater, and Paltuding). Health risk was the main variable composed by four criteria, namely, sanitation risk, operational risk, visitor safety risk, and natural disaster risk. Health risk was categorized into high (score: ≥ 217), moderate (score: 74–216), low (score: 73–144), and no risk (score: ≤ 72). The data were analyzed descriptively.

© Khoiron Kh., Ma'rufi I., Akbar A.A., Ode T.A., Antika R.B., Ridzkyanto R.P., Ali Kh., 2026

Khoiron Khoiron – Academician, member of the Indonesian Public Health Union, Doctor of Environmental Health Sciences, Associate Professor, Lecturer of Environmental Health Department, Public Health Faculty (e-mail: khoiron@unej.ac.id; tel.: +628 133 075-86-06; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7159-7997>).

Isa Ma'rufi – Academician, member of the Indonesian Public Health Union, Doctor of Environmental Health Sciences, Associate Professor, Lecturer of Environmental Health Department, Public Health Faculty (e-mail: isa.marufi.fkm@unej.ac.id; tel.: +628 133 047-77-14; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1147-2612>).

Abdul Azis Akbar – Academician, Lecturer of Nutrition Department, Public Health Faculty (e-mail: asis.akbar@gmail.com; tel.: +628 525 595-65-39; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6034-648X>).

Taufan Asrisyah Ode – Academician, member of the Indonesian Public Health Union, Lecturer of Health Promotion and Behavioral Science Department, Public Health Faculty (e-mail: ode.fkm@unej.ac.id; tel.: +628 114 122-406; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6006-9251>).

Ruli Bahyu Antika – Academician, member of the Indonesian Public Health Union, Lecturer of Nutrition Study Program, Public Health Faculty (e-mail: ruliantika.fkm@unej.ac.id; tel.: +628 112 288-89-96; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2195-085X>).

Ricko Pratama Ridzkyanto – Academician, Assistant Professor, Lecturer of Health and Policy Administration Department, Public Health Faculty (e-mail: ricko.fkm@unej.ac.id; tel.: +628 123 511-74-07; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3876-2429>).

Khaidar Ali – Academician, Assistant Professor, Lecturer of Public Health, Faculty of Health Sciences (e-mail: khaidar.ali@unsoed.ac.id; tel.: +628 589 623-96-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8857-3003>).

The environmental sanitation risk assessment found deficiencies in clean water, suboptimal waste management, and a shortage of appeal boards. Operational risks involved shortages of health facilities, signage, and warnings. Visitor safety risks were related to dangerous trail conditions, while natural disaster risks were related to potential fires, floods, and flash floods.

The environmental health risk exhibited the highest sanitation risk at the Kalipait Site, the highest operational risk at Gentongan Waterfall, and dangerous visitor safety risk at Gentongan and Kalipait Waterfall. The highest natural disaster risk was identified at the Kalipait geosite. Nevertheless, the highest health risks were established in the Kalipait Acid flow (score: 259), Gentongan Waterfall (score: 246), and Megasari Peak (score: 223).

Based on the risk evaluation in Ijen UGG, the majority of Geosites are safe, but those at risk need infrastructure improvements and community participation. Mitigation and education efforts need to be enhanced to minimize the identified risks. To improve visitor safety, it is necessary to implement public education programs and to train officers how to handle emergency conditions.

Keywords: environmental health risk, health risk, geosites, Ijen UGG, geotourism.

References

1. Novarlia I. A Study of Environmentally-Sound Geotourism Potential in Sumedang Regency. *Interdisciplinary Social Studies*, 2023, vol. 2, no. 5, pp. 1945–1952. DOI: 10.55324/iss.v2i5.410
2. Kaygili S., Sinanoglu D., Aksoy E., Sasmaz A. Geotourism: Some Examples from Turkey. *J. Geol. Geogr. Geocology*, 2018, vol. 26, no. 1, pp. 79–87. DOI: 10.15421/111809
3. Ríos-Reyes C.A., Manco-Jaraba D.C., Castellanos-Alarcón O.M. Geotourism in caves of Santander as a novel strategy for the protection of natural and cultural heritage associated to underground ecosystems. *Biodiversity Int. J.*, 2018. vol. 2, no. 5, pp. 464–474. DOI: 10.15406/bij.2018.02.00101
4. Ansori C., Setiawan N.I., Warmada I.W., Yogaswara H. Identification of Geodiversity And Evaluation of Geosites to Determine Geopark Themes of the Karangsembung-Karangbolong National Geopark, Kebumen, Indonesia. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 2022, vol. 10, no. 1, pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.ijgeop.2022.01.001
5. Chen G., Zhang S., Yan B., Miao S. Environmental Safety Evaluation of Geopark Based on CPTED Concept and Fuzzy Comprehensive Analysis. *PLoS One*, 2021, vol. 16, no. 11, pp. e0260316. DOI: 10.1371/journal.pone.0260316
6. Mikhailenko A.V., Yashalova N.N., Ruban D.A. Environmental Pollution in Geopark Management: A Systematic Review of the Literary Evidence. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, vol. 19, no. 8, pp. 4748. DOI: 10.3390/ijerph19084748
7. Yuliawati A.K., Hadian M.S.D., Rahayu A., Hurriyati R. Developing Geotourism as Part of Sustainable Development at Ciletuh Sukabumi, West Java, Indonesia. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 2016, no. 01 (13), pp. 57–62.
8. Berg-Beckhoff G., Wiedemann P., Adam B., Schüz J., Ølgaard K.B., Andersen P.T., Kabwama S.N., Nielsen J.B. Widening the Understanding of Risk Approaches by Comparing Definitions from Different Disciplines. In book: *Knowledge Management Strategies and Applications*; M. Mohiuddin, N. Halilem, S.M.A. Kobir, C. Yuliang eds. InTech, 2017. DOI: 10.5772/intechopen.70074
9. Rosado-González E.M., Lourenço J.M.M., Palacio-Prieto J.L., Sá A.A. Collaborative mapping on sustainable development goals in Latin America UNESCO Global Geopark: A methodological discussion. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 2023, vol. 11, no. 2, pp. 203–220. DOI: 10.1016/j.ijgeop.2023.02.002
10. Sari R.M., Niha E., Agustina U., Tianingrum N.A. Environmental Health Assessment of Tourism Area After the Covid-19 Pandemic. *Journal of Global Research in Public Health*, 2022, vol. 7, no. 2, pp. 152–158. DOI: 10.30994/jgrph.v7i2.409
11. Álvarez-Sánchez A., Rojas-Lara G.A., Vaca-González E. The Impact of Health and Wellness Tourism on Tourists' Physical, Mental, and Emotional Balance. *Advances in Tourism, Technology and Systems: Selected Papers from ICOTTS 2023, Volume 1*, 2024, pp. 539–548. DOI: 10.1007/978-981-99-9765-7_47
12. Jaelani A.K., Hayat M.J., Luthviati R.D., Al-Fatih S., Mujib M.M. Green Tourism Regulation on Sustainable Development: Droning from Indonesia and China. *Journal of Indonesian Legal Studies*, 2023, vol. 8, no. 2, pp. 2. DOI: 10.15294/jils.v8i2.72210
13. Shamshiry E., Nadi B., Bin Mokhtar M., Komoo I., Saadiah Hashim H., Yahaya N. Integrated Models for Solid Waste Management in Tourism Regions: Langkawi Island, Malaysia. *J. Environ. Public Health*, 2011, vol. 2011, pp. e709549. DOI: 10.1155/2011/709549
14. Singer J., Kieu K.T., Pravitasari A.E. Solid Waste Management in Tourist Destinations in Developing Nations: Case Studies in Hoi An, Vietnam, and Puncak, Indonesia. In book: *Environmental Sustainability and Education for Waste Management*; W.W.M. So, C.F. Chow, J.C.K. Lee eds. Singapore, Springer Publ., 2019, pp. 189–206. DOI: 10.1007/978-981-13-9173-6_11
15. Sagala S., Rosyidie A., Sasongko M.A., Syahbid M.M. Who Gets The Benefits of Geopark Establishment? A Study of Batur Geopark Area, Bali Province, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 158, no. 1, pp. 012034. DOI: 10.1088/1755-1315/158/1/012034
16. Yani A., Mulyadi A., Rosita R. Understanding of Ecoliteration And Perception of Tourism Aware Groups on CHSE (Clean, Health, Safety & Environmental Sustainability) Implementation In Ciletuh Geopark Area, Palabuhanratu. *Jurnal Samudra Geografi*, 2022, vol. 5, no. 1, pp. 1–9. DOI: 10.33059/jsg.v5i1.4784
17. Xu X., Feng C., Zhen D., Tan Y., Lai Q. Evaluation of the environmental costs of tourism based on an emergy analysis of tourism waste disposal: A case study of Yarlung Zangbo Grand Canyon National Park in Motuo County, Tibet. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2021, vol. 28, pp. 32708–32720. DOI: 10.1007/s11356-021-12829-6
18. Gstaettner A.M., Rodger K., Lee D. Managing the safety of nature? Park visitor perceptions on risk and risk management. *Journal of Ecotourism*, 2022, vol. 21, no. 3, pp. 246–265. DOI: 10.1080/14724049.2021.1937189
19. Jia Z., Wu F., Hou D. Geodiversity, Geotourism, Geoconservation, and Sustainable Development in Longyan Aspiring Geopark (China). *Geoheritage*, 2022, vol. 15, no. 1, pp. 11. DOI: 10.1007/s12371-022-00784-8

20. Šerić N., Jakšić Stojanović A., Bagarić L. The Influence of the Security Perception of a Tourist Destination on Its Competitiveness and Attractiveness. *Proceedings of The Faculty of Economics in East Sarajevo*, 2022, vol. 11, no. 24, pp. 33–44. DOI: 10.7251/ZREFIS22240363S
21. Gabriel R., Moreira H., Alencão A., Faria A., Silva E., Sá A. An Emerging Paradigm for the UNESCO Global Geoparks: The Ecosystem's Health Provision. *Geosciences*, 2018, vol. 8, no. 3, pp. 100. DOI: 10.3390/geosciences8030100
22. Hadian S.D., Suganda B.R., Fachrudin K.A., Sunarie C.Y., Barkah N. Management of the Batur Geopark as Geological Conservation Basis. *Journal of Geological Sciences and Applied Geology*, 2022, vol. 6, no. 1.
23. Mastika I.K., Harsono S.S., Khristianto W., Oktawirani P., Hutama P.S. Creative strategies of local resources in managing geotourism in the Ijen UGG Bondowoso, East Java, Indonesia. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 149–168. DOI: 10.1016/j.ijgeop.2023.01.002
24. Zuvara R.A., Herdiansyah H., Asteria D. Environmental Conservation in Ciletuh Geopark, West Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 1041, pp. 012043. DOI: 10.1088/1755-1315/1041/1/012043
25. Suzuki D.A., Takagi H. Evaluation of Geosite for Sustainable Planning and Management in Geotourism. *Geoheritage*, 2017, vol. 10, no. 1, pp. 123–135. DOI: 10.1007/s12371-017-0225-4
26. Sunkar A., Laksapriyanti A.P., Haryono E., Brahmi M., Setiawan P., Jaya A.F. Geotourism Hazards and Carrying Capacity in Geosites of Sangkulirang-Mangkalihat Karst, Indonesia. *Sustainability*, 2022, vol. 14, no. 3, pp. 1704. DOI: 10.3390/su14031704
27. Wyler B.A., Young H.M., Hargarten S.W., Cahill J.D. Risk of deaths due to injuries in travellers: a systematic review. *J. Travel Med.*, 2022, vol. 29, no. 5, pp. taac074. DOI: 10.1093/jtm/taac074
28. Ciurej A., Chrobak-Zuffova A., Wolska A., Kowalik Filipowicz S. Valorization of Geosites in Western Tatra Mountains (Chochołowska Valley) with Focus on Tourist Activity of People with Physical Disabilities. *Studies of the Industrial Geography Commission of the Polish Geographical Society*, 2019, vol. 33, no. 3. DOI: 10.24917/20801653.333.10
29. Permanadewi S., Samodra H., Irzon R., Prabowo A., Ansori C. Quantitative assessment for geosites of the Ijen Geopark in Banyuwangi Regency, East Java, Indonesia. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 63–74. DOI: 10.1016/j.ijgeop.2024.01.003
30. Cahyadi H.S., Newsome D. The post COVID-19 tourism dilemma for geoparks in Indonesia. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 2021, vol. 9, no. 2, pp. 199–211. DOI: 10.1016/j.ijgeop.2021.02.003
31. Sucipto B.S., Mulyati Y.M. Manajemen Risiko Bencana Geologi. *KarismaPro*, 2021, vol. 11, no. 2, pp. 14–26. DOI: 10.53675/karimapro.v2i2.93
32. Hait M., Sahu P. Natural Hazards as a Source of Environmental Pollution in the Global South. In book: *Biomonitoring of Pollutants in the Global South*. Singapore, Springer Nature Publ., 2024, pp. 153–190. DOI: 10.1007/978-981-97-1658-6_5
33. Nakić Z., Mileusnić M., Pavlič K., Kovač Z. Environmental geology and hydrology. *Physical Sciences Reviews*, 2017, vol. 2, no. 10, pp. 20160119. DOI: 10.1515/psr-2016-0119
34. Halim Bashah M.K., Muhammad B., Shamsuddin A., Shaza N., Abdullah R., Kamarudin K.H., Lumpur K., Sultan J., Petra Y. Factors contributing to Participation in Community-led DRR Programmes in Malaysia. *Disaster Advances*, 2024, vol. 17, no. 8, pp. 41–48. DOI: 10.25303/178da041048
35. Wachinger G., Renn O., Begg C., Kuhlicke C. The Risk Perception Paradox – Implications for Governance and Communication of Natural Hazards. *Risk Anal.*, 2013, vol. 33, no. 6, pp. 1049–1065. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2012.01942.x
36. Bird D.K., Gisladdottir G., Dominey-Howes D. Volcanic Risk and Tourism in Southern Iceland: Implications for Hazard, Risk And Emergency Response Education and Training. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2010, vol. 189, no. 1–2, pp. 33–48. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2009.09.020
37. Husna C., Firdaus R., Wardani E., Jannah S.R. Disaster preparedness among disaster management agency officers: a study from rural and urban areas in Aceh, Indonesia. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 2022, vol. 13, no. 4, pp. 484–497. DOI: 10.1108/IJDRBE-02-2021-0015
38. Qadaryati N., Pambudi Y.R., Winarno T. Geohazard Risk Management on Geotourism, Case Study: Pindul Cave, Gunung Kidul – Yogyakarta. *Proceeding of the 5th International Conference of Geological Engineering Faculty*, 2021, vol. 1, no. 1, pp. 10–17. DOI: 10.17501/27838625.2020.1102
39. Al Farabi M.R., Sintawati A. Flood early warning system at Jakarta dam using internet of things (IoT)-based real-time fishbone method to support industrial revolution 4.0. *Journal of Soft Computing Exploration*, 2024, vol. 5, no. 2, pp. 99–106. DOI: 10.52465/josce.v5i2.293
40. Pavlova I. Disaster risk reduction at UNESCO Global Geoparks and Biosphere Reserves. *Journal of World Heritage Studies*, 2019, sp. iss. 2019, pp. 73–77. DOI: 10.15068/00157689

Khoiron Kh., Ma'rufi I., Akbar A.A., Ode T.A., Antika R.B., Ridzkyanto R.P., Ali Kh. Environmental health risk analysis on geotourism destination at Ijen Unesco Global Geopark – Indonesia. Health Risk Analysis, 2026, no. 1, pp. 43–53. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.04.eng

Получена: 21.10.2025

Одобрена: 11.03.2026

Принята к публикации: 26.03.2026

Научная статья

ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОТРЕБЛЕНИИ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

А.А. Паюта, Е.А. Флёрова, Ю.В. Зайцева

Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова, Российская Федерация, 150003,
г. Ярославль, ул. Советская, 14

Объектами исследования являлись особи ценных промысловых видов из Горьковского водохранилища: лещ, судак и чехонь. Цель работы – определение элементного состава мышечной ткани и половых желёз рыб Горьковского водохранилища и оценка риска при их потреблении в пищу для здоровья человека.

Рыбы выловлены тралом со стандартных станций водохранилища. Для анализа отбирали мышечную ткань и гонады, которые взвешивали и замораживали до начала анализа при -18°C . В лаборатории ткани высушивали при 60°C до постоянной массы, измельчали, сжигали в муфельной печи при 550°C . В пробах определяли Cd, Pb, Al, Co, Ni, Zn, Cu, Li, Cr, V методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой; Mn, Fe, Mg – методом спектрофотометрии. Калий определяли с применением пламенно-эмиссионной спектрометрии. Потребление рыбы рассчитывали на основании данных FAO с учетом массовой доли мяса и гонад.

Для оценки риска здоровью человека расчетным путем определяли коэффициент опасности, индексы опасности, хроническое ежедневное поступление металлов, канцерогенный риск от каждого канцерогенного вещества и их комплекса. Установлено повышенное содержание ряда металлов в исследованных тканях чехони в сравнении с аналогичными параметрами тканей леща и судака. Причиной более высокой контаминации тканей чехони может являться более широкий спектр питания особей этого вида. Значения суточного поступления металлов человеку из тканей исследованных рыб не превышали контрольные значения допустимого суточного поступления и рекомендуемой суточной нормы для взрослого населения. Значения коэффициентов и индексов опасности всех элементов не превышали допустимого порога. Значение канцерогенного риска развития рака при длительном употреблении в пищу мяса леща превышало установленные допустимые уровни. Показатели неканцерогенного и канцерогенного рисков были больше для сценария употребления в пищу тканей леща, чем судака и чехони.

Полученные данные могут быть использованы для информирования населения о потенциальных рисках для здоровья при употреблении в пищу промысловых рыб Горьковского водохранилища.

Ключевые слова: тяжелые металлы, лещ, судак, чехонь, Горьковское водохранилище, неканцерогенный риск, канцерогенный риск.

Водная среда, особенно внутренние воды, испытывает многогранное, высокое антропогенное воздействие [1]. Загрязнение водоемов и увеличение концентраций загрязняющих веществ обычно происходят в результате антропогенной деятельности: сброса сельскохозяйственных, муниципальных, бытовых или промышленных отходов, а также через очистные сооружения сточных вод [2, 3]. Металлы, попадая в водную среду, сохраняются в ней в растворенном или взвешенном состоянии и постепенно

оседают в донные отложения с течением времени, при этом гидробионты поглощают эти вещества [4].

Накопленные в рыбе тяжелые металлы могут нарушать полезные питательные свойства гидробионтов и попадать в организм людей по пищевой цепи, что приводит к рискам для здоровья [2, 5]. Изучение элементного состава тканей водных животных и оценка риска для здоровья человека важны для общественного здравоохранения по причине способности многих металлов к биоаккумуляции [6].

© Паюта А.А., Флёрова Е.А., Зайцева Ю.В., 2026

Паюта Александра Александровна – кандидат биологических наук, научный сотрудник научной лаборатории экомониторинга и контроля качества (e-mail: a.payuta@mail.ru; тел.: 8 (905) 638-94-75; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0478-4709>).

Флёрова Екатерина Александровна – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник научной лаборатории экомониторинга и контроля качества (e-mail: katarinum@mail.ru; тел.: 8 (903) 829-01-80; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9745-6746>).

Зайцева Юлия Владимировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научной лаборатории экомониторинга и контроля качества (e-mail: zjv9@mail.ru; тел.: 8 (980) 703-53-01; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9522-010X>).

Горьковское водохранилище, созданное на густонаселенных промышленных территориях Ярославской, Костромской, Ивановской и Нижегородской областей, испытывает сильную антропогенную нагрузку. Химический состав воды Горьковского водохранилища зависит от качества вод Рыбинского водохранилища, а также от веществ, поступающих со стоками промышленных предприятий, расположенных в крупных городах, основанных на его берегах (Тутаева, Ярославля, Костромы, Кинешмы). В последние годы в Горьковском водохранилище преобладают створы с водой 3-го класса качества от «загрязненной» до «очень загрязненной» [7, 8]. В водоеме отмечают превышение ПДК по содержанию в воде Cu, Mn, Zn и стабильную токсическую нагрузку на донные отложения вблизи крупных населенных пунктов [9].

Несмотря на загрязнение, на Горьковском водохранилище ведется активный рыбный промысел. Согласно отчетам ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)», за последние годы на его акватории промышленный лов осуществляет 28 организаций. Объем добычи составляет более 450 т рыбы. Лещ *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) считается основным промысловым видом в водохранилище, его уловы превышают 40 % общего объема добычи. Высокую значимость в уловах играют также судак *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) (6,8 % общего объема добычи) и чехонь *Pelecus cultratus* (Linnaeus, 1758) (3,5 % общего объема добычи) [10].

Мясо рыб является ценным продуктом питания благодаря высокому содержанию белка, омега-3, витаминов и минералов [2, 11]. Икра частиковых рыб, к которым относятся лещ, судак и чехонь, экономически более доступна и всё чаще используется в пищу независимо от сезона и дохода потребителей. Чаще всего ее используют в качестве заменителей икры или для потребления в сушеном или ферментированном виде [12, 13]. Поэтому определение элементного состава промысловых видов рыб носит как теоретический, так и практический аспекты.

Цель исследования – определение элементного состава мышц и гонад леща, судака и чехони Горьковского водохранилища и оценка риска для здоровья человека при потреблении этих видов в пищу.

Материалы и методы. Объектом исследования служили особи леща ($n = 94$, из которых ювенильных особей 11, самок – 51, самцов – 32), судака ($n = 17$, из которых самок 9, самцов – 8) и чехони ($n = 12$, из которых ювенильных особей 3, самок – 5, самцов – 4). Рыб вылавливали тралом в конце нагульного периода (сентябрь – октябрь) на стандартных станциях траления Горьковского водохранилища, измеряли, взвешивали. У рыб отсекали мышечную ткань вдоль позвоночника, из внутренней полости половозрелых самок и самцов иссекали гонады – яичники и семенники. Пробы взвешивали и

замораживали при $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ до проведения анализа. В лаборатории ткани высушивали при $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ в сушильном шкафу SNOL 58/350 (AB UMEGA-GROUP, Литва), измельчали в лабораторной мельнице. Далее пробы сжигали в муфельной печи SNOL 8.2/1100 LSM 21 (AB UMEGA-GROUP, Литва) при $550\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Золу растворяли в 5 мл 20%-ной HCl и отфильтровывали через фильтровальную бумагу. В пробах определяли Cd, Pb, Al, Co, Ni, Zn, Cu, Li, Cr, V на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) Agilent 7500 (США), Mn, Fe, Mg – на спектрофотометре KVANT 2-AT (Kortec Ltd., Москва, Российская Федерация). Содержание калия определяли с применением пламенно-эмиссионной спектрометрии. Для получения показателей в гонадах рыб использовались объединенные данные по яичникам и семенникам на II и III стадии зрелости. Полученные результаты выражали в мг/кг влажного веса.

Химические вещества могут попадать в организм человека несколькими путями: пероральным, кожным и ингаляционным [14]. В текущей работе оценивался риск для здоровья человека при пероральном поступлении металлов с рыбой.

При оценке риска потребления рыб, в том числе гонад, традиционно используются либо данные Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (FAO) по суточному потреблению рыбной продукции, либо государственные суточные нормы потребления рыбы [1, 3, 13]. Однако массовая доля половых желёз рыб значительно меньше, чем мышечной ткани. В то же время статистика потребления рыбы рассчитывается на основе сырца – живой рыбы. В связи с этим показатели риска при подобных расчетах могут оказаться завышенными.

Нами была предпринята попытка провести оценку риска потребления мяса и гонад по отдельности с учетом их массовой доли. Для определения массовой доли мяса исследуемых особей рыб использовали данные по массе рыбы без внутренностей (массу порки), гонад – по массе яичников и семенников, полученных во время научной экспедиции.

В нашем исследовании массовая доля мяса от массы живой рыбы составляла для всех видов 88 %, гонад для леща – 1 %, судака – 0,45 %, чехони – 3,35 %. Для расчета суточного потребления рыбы в качестве общепринятого показателя мы использовали данные FAO по суточному потреблению рыбы. В Российской Федерации на 2022 г. оно составляло для пелагических рыб 0,013 кг/день, для донных – 0,024 кг/день. Таким образом, суточное потребление мяса леща, судака и чехони составило 0,021, 0,011 и 0,011 кг/день соответственно; гонад леща, судака и чехони – 0,00024, 0,00006 и 0,00044 кг/день соответственно.

Ежедневное поступление металлов из тканей рыб определялось путем умножения средних кон-

центраций каждого металла на количество рыбы, потребляемой в день, для взрослого человека по формуле (1):

$$EDI = \frac{Ir \cdot C}{BW}, \quad (1)$$

где EDI – ежедневное поступление металлов, Ir – суточное потребление мяса или гонад, кг/день, C – концентрация металла в рыбе, мг/кг, BW – средний вес человека (70 кг в РФ [14]).

Неканцерогенный риск оценивали путем расчета коэффициента опасности по формуле (2):

$$HQ = \frac{EF \cdot ED \cdot Ir \cdot C}{RfD \cdot BW \cdot TA}, \quad (2)$$

где HQ – неканцерогенный риск;

EF – частота воздействия (365 дней/год);
 ED – продолжительность воздействия (70 лет);
 Ir – суточное потребление мяса или гонад, кг/день;
 C – концентрация металла в рыбе, мг/кг;
 RfD – референтная доза, мг/кг/день;
 BW – средний вес человека, кг;
 TA – среднее время экспозиции (365 дней/год · ED).

Для оценки рисков для здоровья человека от комбинированного воздействия нескольких химических веществ с однонаправленным действием (кумулятивный риск) в настоящее время используется метод определения HI . Данный метод утверждает, что потенциал комбинированных доз химических веществ, вызывающих эффекты (помимо эффектов отдельных химических веществ), может быть консервативно оценен с использованием отношений доз химических веществ к разрешенным дозам химических веществ [15]. Таким образом, кумулятивный риск для каждого органа или системы органов определяли по формуле (3):

$$HI_k = \sum HQ_j, \quad (3)$$

где HI_k – индекс опасности развития нарушения функций k -х критических органов и систем, HQ_j – неканцерогенные риски для отдельных j -х компонентов смеси веществ, воздействующих на критические органы и системы k .

Уровень канцерогенного риска при хроническом воздействии определяли по формуле (4):

$$TR = \frac{EF \cdot ED \cdot Ir \cdot C \cdot SFO}{BW \cdot TA}, \quad (4)$$

где TR – канцерогенный риск;

EF – частота воздействия (365 дней/год);
 ED – продолжительность воздействия (70 лет);
 Ir – суточное потребление мяса или гонад, кг/день;
 C – концентрация металла в рыбе, мг/кг;
 SFO – фактор наклона для перорального пути поступления химических канцерогенов, мг/кг/день;
 BW – средний вес человека, кг;
 TA – среднее время экспозиции.

При воздействии нескольких канцерогенов суммарный канцерогенный риск для перорального пути поступления рассчитывался по формуле (5):

$$TCR = TR_{cd} + TR_{pb} + \dots + TR_n, \quad (5)$$

где TCR – суммарный канцерогенный риск, TR_{cd} – уровень канцерогенного риска от кадмия, TR_{pb} – уровень канцерогенного риска от свинца, TR_n – уровень канцерогенного риска от n -го токсиканта.

Методы оценки риска для здоровья человека, а также значения референтной дозы (RfD) и фактора наклона для перорального пути поступления химических канцерогенов (SFO) были взяты из отечественных и зарубежных официальных источников (P 2.1.10.3968-23¹, Integrated Risk Information System, IRIS² и Office of Environmental Health Hazard Assessment, ОЕННА CalEPA³).

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью программ Microsoft Excel 2007 и AtteStat. Полученные данные были проанализированы на соблюдение условий нормальности распределения по критерию Шапиро – Уилка. Достоверность различий между средними значениями оценивали методом Шеффе или с помощью критериев Краскела – Уоллеса и Данна при $P \geq 0,95$. Результаты представлены в виде средних значений и их стандартных отклонений ($x \pm SD$).

Результаты и их обсуждение. Концентрации различных металлов в мышцах и гонадах промысловых рыб из Горьковского водохранилища варьировались в пределах нескольких порядков: от 10^{-3} для Cd и Co до 10^3 для K (табл. 1, 2). Содержание ванадия во всех исследованных пробах оказалось ниже предела обнаружения.

¹ P 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: 27.10.2025).

² Location-Specific Environmental Information [Электронный ресурс] // United States Environmental Protection Agency (US EPA). – URL: https://19january2021snapshot.epa.gov/environmental-topics/location-specific-environmental-information_.html (дата обращения: 27.10.2025).

³ Environmental Topics [Электронный ресурс] // The Office of Environmental Health Hazard Assessment (ОЕННА). – URL: <https://oehha.ca.gov/environmental-topics> (дата обращения: 27.10.2025).

Таблица 1

Содержание неэссенциальных элементов в тканях промысловых рыб Горьковского водохранилища, мг/кг

Вид	Cd	Pb	Al
<i>Мышцы</i>			
Лещ	0,0027 ± 0,0017 ^a	0,083 ± 0,037 ^a	19,19 ± 8,60
Судак	0,0031 ± 0,0010 ^a	0,092 ± 0,030 ^a	14,90 ± 3,09
Чехонь	0,0121 ± 0,0131 ^b	0,517 ± 0,352 ^b	25,44 ± 17,27
<i>Гонады</i>			
Лещ	0,0049 ± 0,0029	0,135 ± 0,101	113,17 ± 55,25
Судак	0,0044 ± 0,0010	0,147 ± 0,024	58,00 ± 10,25
Чехонь	0,0081 ± 0,0024	0,135 ± 0,027	140,13 ± 74,74

Примечание: здесь и в табл. 2 статистически значимые различия между показателями в столбце для отдельных тканей отмечены разными надстрочными буквенными индексами.

Таблица 2

Содержание эссенциальных элементов в тканях промысловых рыб Горьковского водохранилища, мг/кг

Металл	Мышечная ткань			Гонады		
	Лещ	Судак	Чехонь	Лещ	Судак	Чехонь
Co	0,0095 ± 0,0046 ^b	0,0048 ± 0,0018 ^a	0,0092 ± 0,0065 ^b	0,019 ± 0,008 ^a	0,049 ± 0,005 ^b	0,026 ± 0,004
Ni	0,078 ± 0,098	0,074 ± 0,044	0,116 ± 0,137	0,086 ± 0,033	0,085 ± 0,016	0,062 ± 0,041
Zn	9,61 ± 11,94 ^a	2,62 ± 0,41 ^a	25,93 ± 16,89 ^b	128,34 ± 65,46 ^a	35,79 ± 4,61 ^b	78,54 ± 6,38
Cu	1,58 ± 2,61	0,981 ± 0,302	0,901 ± 0,523	4,47 ± 6,38	1,58 ± 0,26	1,43 ± 1,17
Mn	0,644 ± 0,264	0,135 ± 0,024	0,854 ± 0,378	2,71 ± 2,63	6,68 ± 3,64	2,74 ± 1,02
Fe	23,78 ± 38,85	3,06 ± 1,31 ^a	11,90 ± 4,45 ^b	23,18 ± 10,15	28,57 ± 20,37	29,33 ± 15,16
Mg	0,502 ± 0,157	0,575 ± 0,058	0,587 ± 0,118	0,757 ± 0,343 ^a	1,32 ± 0,24 ^b	1,41 ± 0,12 ^b
Li	1,04 ± 1,34 ^a	2,19 ± 1,44 ^b	0,307 ± 0,224 ^c	2,39 ± 4,18	0,127 ± 0,042 ^a	2,51 ± 1,65 ^b
Cr	0,736 ± 0,410	0,589 ± 0,235	0,520 ± 0,187	2,72 ± 1,77	1,14 ± 0,06	2,13 ± 0,88
K	4527 ± 1444 ^a	2961 ± 179 ^b	3331 ± 1561 ^b	1840 ± 661 ^a	3452 ± 102 ^b	2266 ± 61

При сравнении элементного состава тканей исследованных видов рыб между собой выявлены некоторые особенности. В мышцах чехони содержалось достоверно больше Cd и Pb, чем в мышцах леща и судака (см. табл. 1). Средние концентрации алюминия в мышцах исследованных видов рыб существенно не отличались. В гонадах не обнаружено значимых отличий между содержанием неэссенциальных элементов у исследуемых видов.

Мышцы чехони характеризовались повышенным содержанием Zn и пониженным Li, по сравнению с мышечной тканью леща и судака (см. табл. 2). В мышцах судака накапливалось наименьшее количество кобальта и железа. Наибольшее содержание калия выявлено в мышечной ткани леща. Средние концентрации металлов в мышечной ткани исследуемых видов рыб существенно не отличались по Ni, Cu, Mn, Mg и Cr.

Гонады судака накапливали значимо меньше Zn и больше Co и K, чем половые железы леща (см. табл. 2). В гонадах чехони содержалось наибольшее количество лития, в гонадах леща – наименьшее количество магния. Не обнаружено значимых отличий между содержанием Ni, Cu, Mn, Fe и Cr в половых железах исследованных видов рыб.

В ряде исследований показано, что пресноводные всеядные виды рыб интенсивнее накапливают металлы в своем организме [16, 17]. Хотя есть и другие наблюдения, указывающие, что в теле пло-

тоядных рыб токсичные металлы аккумулируются в большей степени, чем у рыб с иными пищевыми привычками [18]. Вероятно, из-за более широкого спектра питания чехони, в который входит планктон, бентосные личинки хирономид, наземные и водные насекомые, а у взрослых особей – молодь других видов рыб, в тканях ее тела обнаружены более высокие значения тяжелых металлов, чем у леща и судака [19, 20].

В среднем содержание жизненно необходимых элементов в тканях исследованных видов рыб было выше, чем неэссенциальных. Их повышенное содержание объясняется тем, что они участвуют в работе биологических систем, а их дефицит может приводить к нарушению функционирования организма рыб [4, 5]. Однако в исследованных пробах в больших количествах обнаружен и алюминий – генотоксический металл, не имеющий биологических функций и нарушающий обмен веществ гидробионтов, снижающий их воспроизводительную функцию, мозговую деятельность, приводящий к гистологическим повреждениям [21, 22]. Al, откладываясь в костях, мозге, сердце, селезенке и мышцах людей, может приводить к кумулятивному негативному эффекту на эти системы с увеличением времени воздействия [6]. Кроме этого, изучен нейротоксический эффект этого металла и доказан вклад в ухудшение когнитивных способностей и развитие болезни Альцгеймера [23].

Показатели суточного (*EDI*) поступления в организм взрослого человека металлов из мяса леща, судака и чехони Горьковского водохранилища показаны в табл. 3.

При потреблении мяса и половых гонад леща, судака и чехони в наибольшей степени в организм поступает калий, в наименьшей – кадмий и кобальт. Из-за большого потребления жителями Российской Федерации донных рыб при равной массовой доле мяса исследованных особей леща, судака и чехони поступление ряда элементов, в том числе неэссенциальных тяжелых металлов, от мышечной ткани леща оказалось выше, чем от мяса пелагических видов – судака и чехони, несмотря на более высокие концентрации этих элементов в их организме, по сравнению с лещом.

Полученные значения суточного поступления металлов из тканей промысловых рыб Горьковского водохранилища для каждого микро- и макроэлемента были гораздо ниже контрольных значений допустимого суточного поступления и рекомендованной суточной нормы для взрослого населения, регламентированных Р 2.1.10.3968-23, МР 2.3.1.0253-21⁴ и другими источниками [24, 25]. Поэтому на основании руководящих принципов FAO/WHO JECFA потребление мяса и половых гонад леща, судака и чехони нельзя считать оказывающим неблагоприятное воздействие на потребителей.

Говоря о поступлении металлов в организм человека, необходимо иметь в виду, что свойства элементов являются видоспецифичными, в связи с чем эссенциальные и неэссенциальные элементы могут

взаимодействовать антагонистически [26]. В частности, наиболее значимый антагонизм обнаружен между эссенциальными цинком и магнием и токсичными свинцом, кадмием и никелем⁵ [27, 28]. Отмечают снижение уровня V в сыворотке крови и Al в печени при получении животными Zn, что может свидетельствовать об антагонистических взаимодействиях этих металлов [29]. У разных живых организмов выявлены и другие пары антагонистов, например, Cd/Cu, Cu/Zn, Cu/Fe, Al/Mg, Al/Cu и другие [26, 30]. Антагонизм металлов играет защитную роль, которая проявляется в ингибировании ионами эссенциальных элементов токсического действия тяжелых металлов, включении защиты и усилении клеточного иммунного ответа⁵ [30].

Для оценки неканцерогенных рисков, связанных с продолжительностью воздействия токсикантов на здоровье человека при потреблении промысловых рыб из Горьковского водохранилища в течение жизни, проанализированы показатели, представленные в табл. 4.

Результаты анализа продемонстрировали, что показатель *HQ*, характеризующий хронический неканцерогенный риск при изолированном действии каждого токсиканта, для исследованных металлов не превышал допустимого порога (< 1) [31]. В научных публикациях, где показатели неканцерогенного риска определялись без учета массовой доли съедобных частей, для гонад получали более высокие значения этих показателей [3, 5, 13]. Однако в текущем исследовании гонады значительно уступали мышцам по значению показателей неканцерогенного риска.

Таблица 3

Ежедневное поступление металлов (*EDI*) из тканей промысловых рыб Горьковского водохранилища в организм взрослого человека, мг/кг/сут

Металл	Мышечная ткань			Гонады		
	Лещ	Судак	Чехонь	Лещ	Судак	Чехонь
Cd	$8,11 \cdot 10^{-7}$	$4,90 \cdot 10^{-7}$	$1,90 \cdot 10^{-6}$	$1,67 \cdot 10^{-8}$	$3,75 \cdot 10^{-9}$	$5,09 \cdot 10^{-8}$
Pb	$2,48 \cdot 10^{-5}$	$1,45 \cdot 10^{-5}$	$8,13 \cdot 10^{-5}$	$4,64 \cdot 10^{-7}$	$1,26 \cdot 10^{-7}$	$8,48 \cdot 10^{-7}$
Al	$5,76 \cdot 10^{-3}$	$2,34 \cdot 10^{-3}$	$4,00 \cdot 10^{-3}$	$3,88 \cdot 10^{-4}$	$4,97 \cdot 10^{-5}$	$8,81 \cdot 10^{-4}$
Co	$2,86 \cdot 10^{-6}$	$7,52 \cdot 10^{-7}$	$1,44 \cdot 10^{-6}$	$6,52 \cdot 10^{-8}$	$4,17 \cdot 10^{-8}$	$1,62 \cdot 10^{-7}$
Ni	$2,34 \cdot 10^{-5}$	$1,16 \cdot 10^{-5}$	$1,82 \cdot 10^{-5}$	$2,96 \cdot 10^{-7}$	$7,25 \cdot 10^{-8}$	$3,89 \cdot 10^{-7}$
Zn	$2,88 \cdot 10^{-3}$	$4,12 \cdot 10^{-4}$	$4,08 \cdot 10^{-3}$	$4,40 \cdot 10^{-4}$	$3,07 \cdot 10^{-5}$	$4,94 \cdot 10^{-4}$
Cu	$4,73 \cdot 10^{-4}$	$1,54 \cdot 10^{-4}$	$1,42 \cdot 10^{-4}$	$1,53 \cdot 10^{-5}$	$1,36 \cdot 10^{-6}$	$8,98 \cdot 10^{-6}$
Mn	$1,93 \cdot 10^{-4}$	$2,12 \cdot 10^{-5}$	$1,34 \cdot 10^{-4}$	$9,29 \cdot 10^{-6}$	$5,73 \cdot 10^{-6}$	$1,72 \cdot 10^{-5}$
Fe	$7,14 \cdot 10^{-3}$	$4,81 \cdot 10^{-4}$	$1,87 \cdot 10^{-3}$	$7,95 \cdot 10^{-5}$	$2,45 \cdot 10^{-5}$	$1,84 \cdot 10^{-4}$
Mg	$1,51 \cdot 10^{-4}$	$9,04 \cdot 10^{-5}$	$9,23 \cdot 10^{-5}$	$2,59 \cdot 10^{-6}$	$1,13 \cdot 10^{-6}$	$8,87 \cdot 10^{-6}$
Li	$3,12 \cdot 10^{-4}$	$3,44 \cdot 10^{-4}$	$4,83 \cdot 10^{-5}$	$8,20 \cdot 10^{-6}$	$1,09 \cdot 10^{-7}$	$1,58 \cdot 10^{-5}$
Cr	$2,21 \cdot 10^{-4}$	$9,26 \cdot 10^{-5}$	$8,18 \cdot 10^{-5}$	$9,34 \cdot 10^{-6}$	$9,81 \cdot 10^{-7}$	$1,34 \cdot 10^{-5}$
K	1,36	0,47	0,52	$6,31 \cdot 10^{-3}$	$2,96 \cdot 10^{-3}$	$1,42 \cdot 10^{-2}$

⁴ МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: методические рекомендации / утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г. [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/> (дата обращения: 28.10.2025).

⁵ Rodriguez R.E., Kasprzak K.S. Antagonists to metal carcinogens // Journal of the American College of Toxicology. – 1989. – Vol. 8, № 7. – P. 1265–1269. DOI: 10.3109/10915818909009116

Неканцерогенный риск металлов (коэффициенты опасности, HQ) при потреблении тканей промысловых рыб из Горьковского водохранилища

Металл	Мышечная ткань			Гонады		
	Лещ	Судак	Чехонь	Лещ	Судак	Чехонь
Cd	0,0008	0,0005	0,0019	0,000017	0,000004	0,000051
Pb	0,0071	0,0041	0,0232	0,000132	0,000036	0,000242
Al	0,0058	0,0023	0,0040	0,000388	0,000050	0,000881
Co	0,0071	0,0019	0,0036	0,000163	0,000104	0,000405
Ni	0,0012	0,0006	0,0009	0,000015	0,000004	0,000019
Zn	0,0096	0,0014	0,0136	0,001467	0,000102	0,001645
Cu	0,0118	0,0039	0,0035	0,000384	0,000034	0,000224
Mn	0,0014	0,0002	0,0010	0,000066	0,000041	0,000123
Fe	0,0102	0,0007	0,0027	0,000114	0,000035	0,000263
Li	0,0156	0,0172	0,0024	0,000410	0,000005	0,000789
Cr	0,0736	0,0309	0,0273	0,003114	0,000327	0,004466

Индекс опасности развития неканцерогенных эффектов HI для групп веществ с однонаправленным действием, влияющих на почки, эндокринную систему, кровь, ЖКТ, нервную систему, оказался минимальным – менее 1,0.

Канцерогенные риски (CRi) от канцерогенных металлов изменялись в пределах нескольких порядков: от 10^{-9} для Pb до 10^{-4} для Cr (табл. 5).

Риск возникновения рака при потреблении мяса всех исследованных видов из Горьковского водохранилища отдельно от Cr, а при потреблении мяса леща и чехони от Cd превышал 1 на 100 000. Кроме этого, значение CR при употреблении мяса леща превышало уровень ($> 1 \cdot 10^{-4}$), при этом наибольший канцерогенный риск от суммарного воздействия металлов установлен для сценария употребления мяса и половых гонад леща одновременно ($1,28 \cdot 10^{-4}$) [1, 31].

Кадмий и свинец – тяжелые металлы, которые чужеродны для организма живых существ. Они не участвуют в биохимических процессах, происходящих при нормальном функционировании организма [31, 32]. Cd и Pb способствуют развитию сахарного диабета 2-го типа и онкологических заболеваний; характеризуются широким спектром неблагоприятного влияния на почки, зрение, нервную, костную и сердечно-сосудистую системы [33]. Хром, у которо-

го установлен потенциальный канцерогенный эффект, может вызывать поражение печени, почек и легких, а также влиять на метаболизм липидов и сахара [1, 34].

Наиболее безопасным с точки зрения здоровья взрослого населения по показателям неканцерогенного и канцерогенного рисков является потребление мяса судака. Учитывая, что мышцы судака являются источником ценного белка, потребление его мяса будет приносить пользу человеку [11].

Оценка риска здоровью подразумевает под собой оценку неопределенности [35]. В данном исследовании неопределенность главным образом связана с усредненной информацией о потреблении рыбы и отсутствии сведений об использовании мяса гидробионтов в пищу различными группами населения в исследованном регионе. Кроме этого, металлы определялись в сырой рыбе, однако считается, что кулинарная обработка может приводить к изменению биодоступности элементов [26]. В нашей работе проведена оценка риска здоровью человека от воздействия нескольких металлов, но в тканях рыб могут содержаться другие канцерогены, которые мы не учитывали. Дополнительная неопределенность может вытекать из ошибок анализа, чувствительности и точности применяемых методик. Тем не менее, даже с учетом этих неопределенностей, результаты,

Таблица 5

Показатели канцерогенных рисков от потребления тканей промысловых рыб из Горьковского водохранилища

Вид	CRi			CR
	Cd	Pb	Cr	
<i>Мышцы</i>				
Лещ	$1,22 \cdot 10^{-5}$	$2,12 \cdot 10^{-7}$	$1,10 \cdot 10^{-4}$	$1,23 \cdot 10^{-4}$
Судак	$7,36 \cdot 10^{-6}$	$1,23 \cdot 10^{-7}$	$4,63 \cdot 10^{-5}$	$5,38 \cdot 10^{-5}$
Чехонь	$2,85 \cdot 10^{-5}$	$6,91 \cdot 10^{-7}$	$4,09 \cdot 10^{-5}$	$7,01 \cdot 10^{-5}$
<i>Гонады</i>				
Лещ	$2,50 \cdot 10^{-7}$	$3,94 \cdot 10^{-9}$	$4,67 \cdot 10^{-6}$	$4,93 \cdot 10^{-6}$
Судак	$5,62 \cdot 10^{-8}$	$1,07 \cdot 10^{-9}$	$4,91 \cdot 10^{-7}$	$5,48 \cdot 10^{-7}$
Чехонь	$7,63 \cdot 10^{-7}$	$7,21 \cdot 10^{-9}$	$6,70 \cdot 10^{-6}$	$7,47 \cdot 10^{-6}$

Примечание: CRi – канцерогенный риск, CR – кумулятивный канцерогенный риск.

полученные в данном исследовании, предоставляют важную информацию о вероятном риске для здоровья человека, связанном с воздействием металлов при употреблении в пищу промысловых рыб Горьковского водохранилища, а особенности элементного состава тканей рыб можно использовать для мониторинга состояния популяций и водной среды.

Выводы. В тканях всех исследованных особей содержание эссенциальных элементов оказалось выше, чем неэссенциальных, исключение составил алюминий. Полученные значения суточного поступления металлов из тканей промысловых рыб не превышали значения допустимого суточного поступления и рекомендованной суточной нормы для взрослого населения.

Значения показателей неканцерогенного риска, формируемого отдельными металлами, соответствовали минимальному уровню риска. Неканцерогенный риск формирования нарушений функций органов и систем органов при воздействии веществ с односторонним действием оказался также минимальным. Уровень суммарного канцерогенного риска при употреблении в пищу отдельно гонад всех

видов минимален, мяса судака и чехони – приемлем, но подлежит постоянному контролю, мяса леща – неприемлем для населения. Наибольший канцерогенный риск от суммарного воздействия металлов установлен для сценария употребления мяса и половых гонад леща одновременно.

Проведенное исследование показывает необходимость разработки профилактических мероприятий, направленных на оздоровление Горьковского водохранилища, и информирования населения о рисках здоровью с рекомендациями ограничения употребления мяса леща. Элементный состав тканей леща, чехони и судака может использоваться в качестве ориентировочных показателей содержания металлов при мониторинге водной среды и состояния популяций этих видов.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Государственного задания НИР № FENZ-2023-0004 Министерства науки и высшего образования РФ на период 2023–2027 годов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in Taiwan: assessment and possible human health implications / C.T. Vu, C. Lin, G. Yeh, M.C. Villanueva // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* – 2017. – Vol. 24, № 23. – P. 19422–19434. DOI: 10.1007/s11356-017-9590-4
2. Bošković N., Joksimović D., Bajt O. Content of trace elements and human health risk assessment via consumption of commercially important fishes from Montenegrin coast // *Foods*. – 2023. – Vol. 12, № 4. – P. 762. DOI: 10.3390/foods12040762
3. Heavy Metal Concentrations and Potential Human Health Risk for Consuming Gills, Muscles, Liver and Gonads of Silver Catfish (*Chrysichthys nigrodigitatus*) Reaped from Great Kwa River, Calabar, Cross River State, Nigeria / E.M. Ayim, N.O. Sam-Uket, J.T. Onejeme, I.O. Owali // *J. Appl. Sci. Environ. Manag.* – 2024. – Vol. 28, № 12. – P. 3973–3982. DOI: 10.4314/jasem.v28i12.4
4. Investigation of the effects of heavy metals (copper, cobalt, manganese, selenium, and zinc) on fish immune systems – An overview / S. Bagheri, A. Gholamhosseini, S.H. Hoseinifar, M. Banaee // *Ann. Anim. Sci.* – 2024. – Vol. 24, № 4. – P. 1025–1035. DOI: 10.2478/aoas-2024-0017
5. Payuta A.A., Flerova E.A., Zaitseva Yu.V. Distribution of Essential and Toxic Elements in *Pelecus cultratus* Tissues and Risk Assessment for Consumer Health // *Toxics*. – 2023. – Vol. 11, № 8. – P. 715. DOI: 10.3390/toxics11080715
6. Toxic metals and metalloids in infant formulas marketed in Brazil, and child health risks according to the target hazard quotients and target cancer risk / C.C. de Almeida, D. Dos Santos Baião, P. de Almeida Rodrigues, T. Dillenburg Saint’Pierre, R.A. Hauser-Davis, K.C. Leandro, V.M.F. Paschoalin, M.P. da Costa, C.A. Conte-Junior // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – 2022. – Vol. 19, № 18. – P. 11178. DOI: 10.3390/ijerph191811178
7. Качество поверхностных вод Российской Федерации: Ежегодник 2022 / под ред. М.М. Трофимчука. – Ростов-на-Дону: ФГБУ «Гидрохимический институт», 2023. – 613 с.
8. Томилина И.И., Ложкина Р.А., Гапеева М.В. Оценка качества воды Горьковского водохранилища (р. Волга, Россия) по данным биотестирования и химического анализа // *Трансформация экосистем*. – 2025. – Т. 8, № 1. – С. 145–160. DOI: 10.23859/estr-230403
9. Lozhkina R.A., Tomilina I.I. Ecological and Toxicological Status of Bottom Sediments of the Gorki Reservoir (According to Biotesting and Chemical Analysis Data) // *Inland Water Biol.* – 2025. – Vol. 18. – P. 232–244. DOI: 10.1134/S1995082924600935
10. Минин А.Е., Катаев Р.К., Постнов Д.И. Характеристика и динамика запасов основных промысловых видов рыб, их освоение и перспективы вылова на Горьковском водохранилище // *Вопросы рыболовства*. – 2023. – Т. 24, № 3. – С. 141–160. DOI: 10.36038/0234-2774-2023-24-3-141-160
11. Payuta A.A., Flerova E.A. Some indicators of metabolism in the muscles, liver, and gonads of pike-perch *Sander lucioperca* and Sichel *Pelecus cultratus* from the Gorky Reservoir // *J. Ichthyol.* – 2019. – Vol. 59, № 2. – P. 255–262. DOI: 10.1134/S0032945219020152
12. Мищенко А.В., Битютская О.Е., Лавриненко О.И. Предварительные маркетинговые исследования ассортимента рынка икры частиковых рыб // *Образование, наука и молодежь-2018: сборник трудов по материалам научно-практических конференций ФГБОУ ВО «КГМУ» / под ред. Е.П. Масюткина*. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2018. – С. 25–30.
13. Estimation of target hazard quotients and potential health risks for toxic metals and other trace elements by consumption of female fish gonads and testicles / K. Pokorska-Niewiada, A. Witczak, M. Protasowicki, J. Cybulski // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – 2022. – Vol. 19, № 5. – P. 2762. DOI: 10.3390/ijerph19052762

14. Разработка комплексного подхода к оценке содержания элементных контаминантов в нативных продуктах на основе лекарственного растительного сырья и его применение к семенам тыквы / С.В. Овсиенко, Н.Е. Кузьмина, В.М. Шукин, Е.А. Хорольская // Вестник Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. – 2022. – Т. 12, № 2. – С. 149–160. DOI: 10.30895/1991-2919-2022-12-2-149-160
15. Price P.S. The Hazard index at thirty-seven: new science new insights // Curr. Opin. Toxicol. – 2023. – Vol. 34. – P. 100388. DOI: 10.1016/j.cotox.2023.100388
16. Determination of heavy metals in muscle tissue of six fish species with different feeding habits from the Danube River, Belgrade – public health and environmental risk assessment / D.A. Jovanović, R.V. Marković, V.B. Teodorović, D.S. Šefer, M.P. Krstić, S.B. Radulović, J.S. Ivanović Ćirić, J.M. Janjić, M.Ž. Baltić // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. – 2017. – Vol. 24, № 12. – P. 11383–11391. DOI: 10.1007/s11356-017-8783-1
17. Ali H., Khan E. Bioaccumulation of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in freshwater fish. Risk to human health // Environ. Chem. Lett. – 2018. – Vol. 16. – P. 903–917. DOI: 10.1007/s10311-018-0734-7
18. Effects on heavy metal accumulation in freshwater fishes: species, tissues, and sizes / Y. Jia, L. Wang, Z. Qu, C. Wang, Z. Yang // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. – 2017. – Vol. 24, № 10. – P. 9379–9386. DOI: 10.1007/s11356-017-8606-4
19. Науменко Е.Н., Хлопников М.М., Рудинская Л.В. Потоки энергии в экосистеме Вислинского (Калининградского) залива Балтийского моря // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. – 2012. – Т. 5, № 2. – С. 184–202.
20. Prysiazniuk N., Slobodeniuk O., Horchanok A. Nutrition and fodder relations of *Pelecus cultratus* (L.) in Kremenchuk reservoir // Prospects and achievements in applied and basic sciences: Abstracts of IV International Scientific and Practical Conference. – Hungary, Budapest, February 9–12, 2021. – P. 22–24.
21. Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution / M.M. Authman, M.S. Zaki, E.A. Khallaf, H.H. Abbas // J. Aquac. Res. Dev. – 2015. – Vol. 6, № 4. – P. 1–13. DOI: 10.4172/2155-9546.1000328
22. Water temperature and acid pH influence the cytotoxic and genotoxic effects of aluminum in the freshwater teleost *Astyanax altiparanae* (Teleostei: characidae) / J.P.S. Pinheiro, C.B. de Assis, M. Munoz-Penuela, F. Barbosa Junior, T.G. Correia, R.G. Moreira // Chemosphere. – 2019. – Vol. 220. – P. 266–274. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.12.143
23. Epigenetic mechanisms of Aluminum-Induced neurotoxicity and Alzheimer's disease: A focus on Non-Coding RNAs / M. Aschner, A.V. Skalny, A. Santamaria, J.B.T. Rocha, B. Mansouri, Y. Tizabi, R. Madeddu, R. Lu [et al.] // Neurochem. Res. – 2024. – Vol. 49, № 11. – P. 2988–3005. DOI: 10.1007/s11064-024-04214-9
24. Aluminium (from all sources, including food additives) // In book: Evaluation of certain food additives and contaminants: sixty-seventh report of the Joint FAO/ WHO Expert Committee on Food Additives: WHO Technical Report Series. – 2007. – № 940. – P. 33–45.
25. Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. – Washington (DC): National Academies Press, 2001. – 773 p. DOI: 10.17226/10026
26. Biological responses related to agonistic, antagonistic and synergistic interactions of chemical species / T. García-Barrera, J.L. Gómez-Ariza, M. González-Fernández, F. Moreno, M.A. García-Sevillano, V. Gómez-Jacinto // Anal. Bioanal. Chem. – 2012. – Vol. 403, № 8. – P. 2237–2253. DOI: 10.1007/s00216-012-5776-2
27. Hair toxic element content in adult men and women in relation to body mass index / M.G. Skalnaya, A.A. Tinkov, V.A. Demidov, E.P. Serebryansky, A.A. Nikonov, A.V. Skalny // Biol. Trace Elem. Res. – 2014. – Vol. 161, № 1. – P. 13–19. DOI: 10.1007/s12011-014-0082-9
28. Mucociliary transport as a link between chronic rhinosinusitis and trace element dysbalance / S.I. Alekseenko, A.V. Skalny, O.P. Ajsuvakova, M.G. Skalnaya, S.V. Notova, A.A. Tinkov // Med. Hypotheses. – 2019. – Vol. 127. – P. 5–10. DOI: 10.1016/j.mehy.2019.03.007
29. Effect of Zn supplementation on trace element status in rats with diet-induced non-alcoholic fatty liver disease / E.R. Gatiatulina, E.A. Sheina, O.N. Nemereshina, E.V. Popova, V.S. Polyakova, E.F. Agletdinov, A.I. Sinitskii, A.V. Skalny [et al.] // Biol. Trace Elem. Res. – 2020. – Vol. 197, № 1. – P. 202–212. DOI: 10.1007/s12011-019-01985-z
30. Кожин А.А., Владимирский Б.М. Микроэлементозы в патологии человека экологической этиологии. Обзор литературы // Экология человека. – 2013. – № 9. – С. 56–64.
31. Residual levels of mercury, cadmium, lead and arsenic in some commercially key species from Italian coasts (Adriatic Sea): Focus on human health / G. Barone, A. Storelli, R. Garofalo, R. Mallamaci, M.M. Storelli // Toxics. – 2022. – Vol. 10, № 5. – P. 223. DOI: 10.3390/toxics10050223
32. Alipour H., Banagar Gh.R. Health risk assessment of selected heavy metals in some edible fishes from Gorgan Bay, Iran // Iran. J. Fish. Sci. – 2018. – Vol. 17, № 1. – P. 21–34. DOI: 10.22092/IJFS.2018.115582
33. Retinal toxicity of heavy metals and its involvement in retinal pathology / M. Aschner, A.V. Skalny, M.M.B. Paoliello, M.N. Tinkova, A.C. Martins, A. Santamaria, E. Lee, J.B.T. Rocha [et al.] // Food Chem. Toxicol. – 2024. – Vol. 188. – P. 114685. DOI: 10.1016/j.fct.2024.114685
34. Accumulation of chromium in plants and its repercussion in animals and humans / R.T. Kapoor, M.F.B. Mfarrej, P. Alam, J. Rinklebe, P. Ahmad // Environ. Pollut. – 2022. – Vol. 301. – P. 119044. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119044
35. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография в 2 т. / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова, И.В. Май, О.Ю. Устинова, П.В. Трусов, Т.Х.Х. Ле, С.В. Клейн [и др.]; под ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой. – М.; Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2024. – Т. 1. – 580 с.

Паюта А.А., Флёрова Е.А., Зайцева Ю.В. Оценка риска для здоровья человека при потреблении промысловых рыб Горьковского водохранилища // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 54–64. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.05



Research article

ASSESSMENT OF HUMAN HEALTH RISKS CAUSED BY CONSUMPTION OF COMMERCIAL FISH CAUGHT IN THE GORKY RESERVOIR

A.A. Payuta, E.A. Flerova, Y.V. Zaitseva

P.G. Demidov Yaroslavl State University, 14 Sovetskaya Str., Yaroslavl, 150003, Russian Federation

Research objects were represented by bream, zander, and sabrefish as valuable commercial fish species from the Gorky Reservoir. The aim of the study was to determine the elemental composition of the muscle tissue and gonads of fish from the Gorky Reservoir and to assess the human health risks associated with consuming this fish.

Fish was caught by trawl at the stations in the reservoir. Muscle tissue and gonads were selected for analysis, weighed, and frozen at -18°C until analysis. In the laboratory, the tissues were dried at 60°C to constant mass, ground in a laboratory mill, and then ashed in a muffle furnace at 550°C . Cd, Pb, Al, Co, Ni, Zn, Cu, Li, Cr, and V were determined in the samples using an Agilent 7500 inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS) (USA), and Mn, Fe, and Mg were determined using a KVANT 2-AT spectrophotometer (Kortec Ltd., Moscow, Russian Federation). Potassium content was determined using flame emission spectrometry. Fish consumption was calculated based on FAO data, taking into account the mass fraction of meat and gonads.

Assessment of the associated human health risks involved calculating the hazard coefficient, the cumulative risk, the chronic daily intake of metals, the cancer risk, and the total cancer risk. Elevated contents of several metals were found in sabrefish tissues relative to bream and zander. This may be due to a wider feeding spectrum of this species. The obtained values of the daily intake of metals from the tissues of the examined fish did not exceed the tolerable daily intake and the recommended daily allowance for the adult population. The values of the target hazard quotient and the total hazard index for all elements did not exceed the permissible threshold. The value of the total target cancer risk caused by consuming bream meat exceeded permissible levels. Non-carcinogenic and carcinogenic risk indicators were higher for consuming bream tissues relative to zander and sabrefish tissues.

Our findings can be used for informing the population about potential health risks caused by consumption of local commercial fish species caught in the Gorky Reservoir.

Keywords: heavy metals, bream, zander, sabrefish, Gorky Reservoir, non-carcinogenic risk, carcinogenic risk.

References

1. Vu C.T., Lin C., Yeh G., Villanueva M.C. Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in Taiwan: assessment and possible human health implications. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2017, vol. 24, no. 23, pp. 19422–19434. DOI: 10.1007/s11356-017-9590-4
2. Bošković N., Joksimović D., Bajt O. Content of trace elements and human health risk assessment via consumption of commercially important fishes from Montenegrin coast. *Foods*, 2023, vol. 12, no. 4, pp. 762. DOI: 10.3390/foods12040762
3. Ayim E.M., Sam-Uket N.O., Onejeme J.T., Owali I.O. Heavy Metal Concentrations and Potential Human Health Risk for Consuming Gills, Muscles, Liver and Gonads of Silver Catfish (*Chrysichthys nigrodigitatus*) Reaped from Great Kwa River, Calabar, Cross River State, Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ. Manag.*, 2024, vol. 28, no. 12, pp. 3973–3982. DOI: 10.4314/jasem.v28i12.4
4. Bagheri S., Gholamhosseini A., Hoseinifar S.H., Banaee M. Investigation of the effects of heavy metals (copper, cobalt, manganese, selenium, and zinc) on fish immune systems – An overview. *Ann. Anim. Sci.*, 2024, vol. 24, no. 4, pp. 1025–1035. DOI: 10.2478/aoas-2024-0017
5. Payuta A.A., Flerova E.A., Zaitseva Yu.V. Distribution of Essential and Toxic Elements in *Pelecus cultratus* Tissues and Risk Assessment for Consumer Health. *Toxics*, 2023, vol. 11, no. 8, pp. 715. DOI: 10.3390/toxics11080715

© Payuta A.A., Flerova E.A., Zaitseva Y.V., 2026

Aleksandra A. Payuta – Candidate of Biological Sciences, Researcher at Scientific Laboratory of Eco-biomonitoring and Quality Control (e-mail: a.payuta@mail.ru; tel.: +7 (905) 638-94-75; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0478-4709>).

Ekaterina A. Flerova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at Scientific Laboratory of Eco-biomonitoring and Quality Control (e-mail: katarinum@mail.ru; tel.: +7 (903) 829-01-80; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9745-6746>).

Yuliya V. Zaitseva – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at Scientific Laboratory of Eco-biomonitoring and Quality Control (e-mail: zjv9@mail.ru; tel.: +7 (980) 703-53-01; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9522-010X>).

6. de Almeida C.C., Dos Santos Baião D., de Almeida Rodrigues P., Dillenburg Saint'Pierre T., Hauser-Davis R.A., Leandro K.C., Paschoalin V.M.F., da Costa M.P., Conte-Junior C.A. Toxic metals and metalloids in infant formulas marketed in Brazil, and child health risks according to the target hazard quotients and target cancer risk. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, vol. 19, no. 18, pp. 11178. DOI: 10.3390/ijerph191811778
7. Kachestvo poverkhnostnykh vod Rossiiskoi Federatsii: Ezhegodnik 2022 [Quality of surface waters in the Russian Federation]. In: M.M. Trofimchuk ed. Rostov-na-Donu, FGBU «Gidrokhimicheskii institut» Publ., 2023, 613 p. (in Russian).
8. Tomilina I.I., Lozhkina R.A., Gapeeva M.V. Water quality assessment in the Gorky Reservoir (Volga River, Russia) based on biotesting and chemical analysis. *Ecosystem Transformation*, 2025, vol. 8, no. 1, pp. 145–160. DOI: 10.23859/estr-230403
9. Lozhkina R.A., Tomilina I.I. Ecological and Toxicological Status of Bottom Sediments of the Gorki Reservoir (According to Biotesting and Chemical Analysis Data). *Inland Water Biol.*, 2025, vol. 18, pp. 232–244. DOI: 10.1134/S1995082924600935
10. Minin A.E., Kataev R.K., Postnov D.I. Stock characteristics, dynamics and efficiency of using of the main commercial fish species, prospects of catching at the Gorky reservoir. *Voprosy rybolovstva*, 2023, vol. 24, no. 3, pp. 141–160. DOI: 10.36038/0234-2774-2023-24-3-141-160 (in Russian).
11. Payuta A.A., Flerova E.A. Some indicators of metabolism in the muscles, liver, and gonads of pike-perch Sander lucioperca and sichel Pelecus cultratus from the Gorky Reservoir. *J. Ichthyol.*, 2019, vol. 59, no. 2, pp. 255–262. DOI: 10.1134/S0032945219020152
12. Mishchenko A.V., Bityutskaya O.E., Lavrinenko O.I. Predvaritel'nye marketingovye issledovaniya assortimenta rynka ikry chastikovykh ryb [Preliminary marketing research of the range of ordinary fish caviar]. *Obrazovanie, nauka i molodezh'-2018: sbornik trudov po materialam nauchno-prakticheskikh konferentsii FGBOU VO «KGMTU» [Education, Science and Youth-2018: collection of papers based on materials of scientific and practical conferences of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «KSMTU»]*. In: E.P. Masyutkin ed. Kerch', FGBOU VO «Kerchenskii gosudarstvennyi morskoi tekhnologicheskii universitet» Publ., 2018, pp. 25–30 (in Russian).
13. Pokorska-Niewiada K., Witczak A., Protasowicki M., Cybulski J. Estimation of target hazard quotients and potential health risks for toxic metals and other trace elements by consumption of female fish gonads and testicles. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, vol. 19, no 5, pp. 2762. DOI: 10.3390/ijerph19052762
14. Ovsienko S.V., Kuz'mina N.E., Shchukin V.M., Khorolskaya E.A. Development of a Comprehensive Approach to Assessing the Content of Elemental Contaminants in Native Herbal Medicinal Products, Using Pumpkin Seeds as a Case Study. *Vedomosti Nauchnogo tsentra ekspertizy sredstv meditsinskogo primeneniya. Regulyatornye issledovaniya i ekspertiza lekarstvennykh sredstv*, 2022, vol. 12, no. 2, pp. 149–160. DOI: 10.30895/1991-2919-2022-12-2-149-160 (in Russian).
15. Price P.S. The Hazard index at thirty-seven: new science new insights. *Curr. Opin. Toxicol.*, 2023, vol. 34, pp. 100388. DOI: 10.1016/j.cotox.2023.100388
16. Jovanović D.A., Marković R.V., Teodorović V.B., Šefer D.S., Krstić M.P., Radulović S.B., Ivanović Ćirić J.S., Janjić J.M., Baltić M.Ž. Determination of heavy metals in muscle tissue of six fish species with different feeding habits from the Danube River, Belgrade – public health and environmental risk assessment. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2017, vol. 24, no. 12, pp. 11383–11391. DOI: 10.1007/s11356-017-8783-1
17. Ali H., Khan E. Bioaccumulation of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in freshwater fish. Risk to human health. *Environ. Chem. Lett.*, 2018, vol. 16, pp. 903–917. DOI: 10.1007/s10311-018-0734-7
18. Jia Y., Wang L., Qu Z., Yang C., Wang Z. Effects on heavy metal accumulation in freshwater fishes: species, tissues, and sizes. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2017, vol. 24, no. 10, pp. 9379–9386. DOI: 10.1007/s11356-017-8606-4
19. Naumenko E.N., Khlopnikov M.M., Rudynskaya L.V. Energy flows in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya*, 2012, vol. 5, no. 2, pp. 184–202 (in Russian).
20. Prysiazhniuk N., Slobodeniuk O., Horchanok A. Nutrition and fodder relations of *Pelecus cultratus* (L.) in Kremenchuk reservoir. *Prospects and achievements in applied and basic sciences: Abstracts of IV International Scientific and Practical Conference*, Budapest, Hungary, February 9–12, 2021, pp. 22–24.
21. Authman M.M., Zaki M.S., Khallaf E.A., Abbas H.H. Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution. *J. Aquac. Res. Dev.*, 2015, vol. 6, no. 4, pp. 1–13. DOI: 10.4172/2155-9546.1000328
22. Pinheiro J.P.S., de Assis C.B., Munoz-Penuela M., Barbosa Junior F., Correia T.G., Moreira R.G. Water temperature and acid pH influence the cytotoxic and genotoxic effects of aluminum in the freshwater teleost *Astyanax altiparanae* (Teleostei: characidae). *Chemosphere*, 2019, vol. 220, pp. 266–274. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.12.143
23. Aschner M., Skalny A.V., Santamaria A., Rocha J.B.T., Mansouri B., Tizabi Y., Madeddu R., Lu R. [et al.]. Epigenetic mechanisms of Aluminum-Induced neurotoxicity and alzheimer's disease: A focus on Non-Coding RNAs. *Neurochem. Res.*, 2024, vol. 49, no. 11, pp. 2988–3005. DOI: 10.1007/s11064-024-04214-9
24. Aluminium (from all sources, including food additives). In book: *Evaluation of certain food additives and contaminants: sixty-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives: WHO Technical Report Series*, 2007, no. 940, pp. 33–45.
25. Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington, DC, National Academies Press, 2001, 773 p. DOI: 10.17226/10026
26. García-Barrera T., Gómez-Ariza J.L., González-Fernández M., Moreno F., García-Sevillano M.A., Gómez-Jacinto V. Biological responses related to agonistic, antagonistic and synergistic interactions of chemical species. *Anal. Bioanal. Chem.*, 2012, vol. 403, no. 8, pp. 2237–2253. DOI: 10.1007/s00216-012-5776-2
27. Skal'naya M.G., Tinkov A.A., Demidov V.A., Serebryansky E.P., Nikonorov A.A., Skalny A.V. Hair toxic element content in adult men and women in relation to body mass index. *Biol. Trace Elem. Res.*, 2014, vol. 161, no. 1, pp. 13–19. DOI: 10.1007/s12011-014-0082-9

28. Alekseenko S.I., Skalny A.V., Ajsuvakova O.P., Skalnaya M.G., Notova S.V., Tinkov A.A. Mucociliary transport as a link between chronic rhinosinusitis and trace element dysbalance. *Med. Hypotheses*, 2019, vol. 127, pp. 5–10. DOI: 10.1016/j.mehy.2019.03.007
29. Gatiatulina E.R., Sheina E.A., Nemereshina O.N., Popova E.V., Polyakova V.S., Agletdinov E.F., Sinitskii A.I., Skalny A.V. [et al.]. Effect of Zn supplementation on trace element status in rats with diet-induced non-alcoholic fatty liver disease. *Biol. Trace Elem. Res.*, 2020, vol. 197, no. 1, pp. 202–212. DOI: 10.1007/s12011-019-01985-z
30. Kozhin A.A., Vladimirov B.M. Microelementoses in human pathology of ecological etiology (Literature Review). *Ekologiya cheloveka*, 2013, no. 9, pp. 56–64 (in Russian).
31. Barone G., Storelli A., Garofalo R., Mallamaci R., Storelli M.M. Residual levels of mercury, cadmium, lead and arsenic in some commercially key species from Italian coasts (Adriatic Sea): Focus on human health. *Toxics*, 2022, vol. 10, no. 5, pp. 223. DOI: 10.3390/toxics10050223
32. Alipour H., Banagar Gh.R. Health risk assessment of selected heavy metals in some edible fishes from Gorgan Bay, Iran. *Iran. J. Fish. Sci.*, 2018, vol. 17, no. 1, pp. 21–34. DOI: 10.22092/IJFS.2018.115582
33. Aschner M., Skalny A.V., Paoliello M.M.B., Tinkova M.N., Martins A.C., Santamaria A., Lee E., Rocha J.B.T. [et al.]. Retinal toxicity of heavy metals and its involvement in retinal pathology. *Food Chem. Toxicol.*, 2024, vol. 188, pp. 114685. DOI: 10.1016/j.fct.2024.114685
34. Kapoor R.T., Mfarrej M.F.B., Alam P., Rinklebe J., Ahmad P. Accumulation of chromium in plants and its repercussion in animals and humans. *Environ. Pollut.*, 2022, vol. 301, pp. 119044. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119044
35. Onishchenko G.G., Zaitseva N.V., Popova A.Yu., May I.V., Ustinova O.Yu., Trusov P.V., Le T.H.H., Kleyn S.V. [et al.]. Analiz riska zdorov'yu v strategii gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya [Health risk analysis in the strategy for the state social and economic development]: monograph in 2 vol. In: G.G. Onishchenko, N.V. Zaitseva eds. Moscow, Perm, PNRPU Publ., 2024, vol. 1, 580 p. (in Russian).

Payuta A.A., Flerova E.A., Zaitseva Y.V. Assessment of human health risks caused by consumption of commercial fish caught in the Gorky reservoir. Health Risk Analysis, 2026, no. 1, pp. 54–64. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.05.eng

Получена: 03.10.2025

Одобрена: 19.02.2026

Принята к публикации: 26.03.2026

Научная статья

АКРИЛАМИД В ОБРАБОТАННЫХ ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ И ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ, ОБУСЛОВЛЕННОГО ЕГО НАЛИЧИЕМ: ОПЫТ РЕСПУБЛИКИ ВЬЕТНАМ**Тран Као Сон^{1,2}, Нгуен Тхи Хонг Нгок^{1,2}, Кью Ван Анх¹, Тран Ху Хью¹, Фам Тхи Тханх Ха²**¹Национальный институт по контролю пищевых продуктов, Вьетнам, г. Ханой, ул. Фам Тхан Дуат, 65²Ханойский фармацевтический университет, Вьетнам, г. Ханой, ул. Ле Тханг Тонг, 13–15

Акриламид – это загрязняющее вещество, образующееся в процессе термической обработки продуктов, с потенциальными канцерогенными эффектами (группа 2А по классификации МАИР). Целью данного исследования являлось определение присутствия акриламида и оценка уровней экспозиции данным веществом вследствие поступления с популярными обработанными продуктами питания во Вьетнаме.

Образцы продуктов питания были приобретены на розничных рынках и в супермаркетах во всех крупных городах страны. Концентрации акриламида были определены с использованием проверенного метода ЖХ-МС/МС. Установленное суточное потребление было рассчитано на основании данных о суточном потреблении продуктов питания взрослым человеком. Предел экспозиции (Margin of Exposure – MOE) был получен путем применения нижнего доверительного предела критической дозы (Benchmark dose (lower confidence limit) 10 – BMDL10), равной 0,43 мг/кг м.т./день для нейротоксических эффектов и 0,17 мг/кг м.т./день для канцерогенных эффектов. Данные уровни были установлены Европейским агентством по безопасности продуктов питания (EFSA).

Акриламид был обнаружен во всех анализируемых группах продуктов питания; средняя обнаруженная концентрация составила 168 ± 109 мкг/кг. Наиболее высокие средние концентрации были обнаружены в обжаренном и растворимом кофе (267 ± 51 мкг/кг) и жареном / запеченном картофеле (181 ± 99 мкг/кг). Общее среднее установленное суточное потребление для взрослого населения Вьетнама составило примерно 1,36 мг/кг м.т./день. Установленный стабильно нарастающий пожизненный канцерогенный риск (Cancer Risk – CR) для 95%-ного перцентиля превышал пороговый уровень $1 \cdot 10^{-4}$ для двух групп пищевых продуктов. Эти результаты указывают на возможное наличие рисков здоровью, в особенности для людей, потребляющих продукты с высоким содержанием акриламида в больших объемах. Это говорит о необходимости разработки целевых мер по управлению рисками здоровью, концентрации усилий на снижении уровней акриламида в продуктах быстрого приготовления, закусках из картофеля и ферментированных напитках.

Ключевые слова: акриламид, обработанные продукты питания, канцерогенность, оценка экспозиции, установленное суточное потребление, предел экспозиции, оценка риска, стабильно нарастающий пожизненный канцерогенный риск, Вьетнам.

Акриламид (C_3H_5NO) – это загрязняющее вещество, образующееся в процессе термической обработки продуктов и привлекающее значительное внимание исследователей по причине токсикологической значимости и повсеместного присутствия в термически обработанных продуктах питания. В первую очередь он образуется в результате реак-

ции Майяра, происходящей между аспарагином и редуцирующими сахарами, такими как глюкоза и фруктоза, при нагревании свыше 120 °С и низкой влажности (рисунок) [1, 2]. Эта реакция возникает при широко распространенных процессах обработки продуктов питания, включая жарку и запекание. Они широко применяются для приготовления

© Тран Као Сон, Нгуен Тхи Хонг Нгок, Кью Ван Анх, Тран Ху Хью, Фам Тхи Тханх Ха, 2026

Тран Као Сон – кандидат фармацевтических наук, заместитель генерального директора; доцент (e-mail: sontc@nifc.gov.vn; тел.: 84-98-868-3282; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9779-2715>).

Нгуен Тхи Хонг Нгок – магистр фармацевтики, глава лаборатории, научный сотрудник; студент аспирантуры (e-mail: ngonth@nifc.gov.vn; тел.: 84-24-322-62-237; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1861-0857>).

Кью Ван Анх – бакалавр химии, научный сотрудник (e-mail: kieuvananh110010@gmail.com; тел.: 84-37-818-4675; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4139-9318>).

Тран Ху Хью – бакалавр наук о питании, научный сотрудник (e-mail: hieu.huytran02@gmail.com; тел.: 84-36-240-5315; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3071-5423>).

Фам Тхи Тханх Ха – доктор фармацевтических наук, доцент, старший преподаватель, заместитель декана факультета аналитической химии и контроля качества лекарственных препаратов (e-mail: thanhha.pham@hup.edu.vn; тел.: 84-24-393-32-332; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2644-7620>).

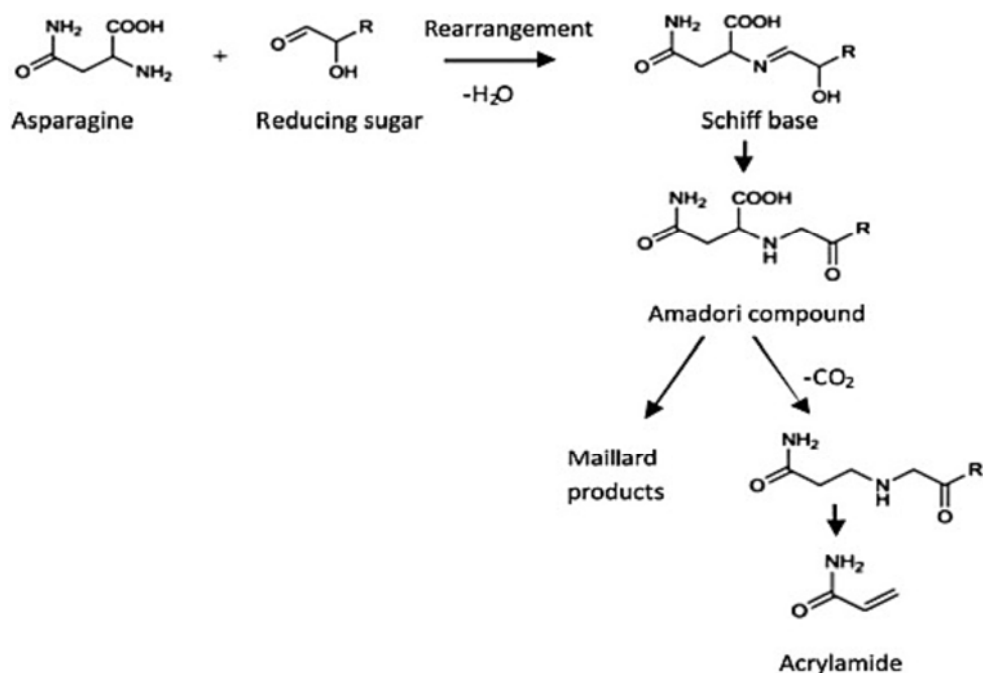


Рис. Структура акриламида и процесс его формирования в обработанных продуктах питания [5]

массовых продуктов питания, таких как закуски из картофеля (чипсы), хлеб, печенье, обжаренный кофе. В некоторых исследованиях было показано, что на формирование акриламида оказывают влияние несколько факторов, включая температуру, время, pH, начальную концентрацию и состав матрицы продукта питания [3, 4].

С позиции токсикологии акриламид является признанным канцерогеном для человека. Международное агентство по исследованию рака (МАИР) классифицирует акриламид как вещество группы 2A – вероятный канцероген – на основании достаточных доказательств канцерогенных эффектов, полученных в экспериментах на животных, и ограниченных доказательств в исследованиях с участием человека¹. Акриламид легко поглощается в пищеварительном тракте и распределяется по тканям в организме, а затем формирует метаболит глицидамид – генотоксичный эпоксид, способный формировать аддукты с ДНК и гемоглобином. Хроническая экспозиция в эксперименте на крысах была связана с

нейротоксичностью, репродуктивной токсичностью и формированием опухолей в многочисленных органах² [6, 7] (табл. 1).

Нижний доверительный предел реперной дозы акриламида для 10 % ответа (BMDL₁₀) для канцерогенного / нейротоксического эффекта был установлен на уровне 0,17 и 0,43 мг/кг массы тела в день (м.т./день) соответственно как наиболее низком уровне из всего спектра BMDL₁₀ доз, установленных Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов (ESFA) [8]. Это значение было получено на основании оценки заболеваемости раком у экспериментальных животных и впоследствии широко применялось в оценке риска, связанного с экспозицией акриламидом. Помимо этого, фактор наклона в оценке стабильно нарастающего пожизненного канцерогенного риска при оральной экспозиции (CSF) для акриламида при оценке пожизненного канцерогенного риска для взрослого населения составил 0,5 (мг/кг м.т./день), согласно рекомендации Агентства по охране окружающей среды США³. Данный

¹ IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 60. Some Industrial Chemicals [Электронный ресурс] // IARC. – Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 1994. – URL: <https://publications.iarc.who.int/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Some-Industrial-Chemicals-1994> (дата обращения: 30.10.2025); Internal Report 14/002. Report of the Advisory Group to Recommend Priorities for IARC Monographs during 2015–2019 [Электронный ресурс] // IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (updated 20 August 2018). – Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2015. – URL: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/08/14-002.pdf> (дата обращения: 30.10.2025).

² Friedman M.A., Dulak L.H., Stedham M.A. A Lifetime Oncogenicity Study in Rats with Acrylamide // *Fundam. Appl. Toxicol.* – 1995. – Vol. 27, № 1. – P. 95–105. DOI: 10.1006/faat.1995.1112; Chronic toxicity and oncogenicity study on acrylamide incorporated in the drinking water of Fischer 344 rats / K.A. Johnson, S.J. Gorzinski, K.M. Bodner, R.A. Campbell, C.H. Wolf, M.A. Friedman, R.W. Mast // *Toxicol. Appl. Pharmacol.* – 1986. – Vol. 85, № 2. – P. 154–168. DOI: 10.1016/0041-008X(86)90109-2

³ Acrylamide CASRN 79-06-1 [Электронный ресурс] // US EPA. – URL: https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance_nmbr=286 (дата обращения: 30.10.2025).

Обобщение токсикологических эффектов акриламида

Токсикологический эффект	Поражаемые орган / система	Ключевой механизм	Критическая доза
Нейротоксический	Периферическая и центральная нервная система	Ковалентное связывание с белками нейронов	$\geq 0,43$ мг/кг м.т./день
Генотоксический	ДНК (посредством глицидамида)	Формирование аддуктов, опосредованное эпоксидом	Пороговая доза отсутствует
Канцерогенный	Множественные органы	Генотоксический и окислительный стресс	$BMDL_{10} \approx 0,17$ мг/кг м.т./день
Репродуктивная токсичность / Влияние на развитие	Яички, развитие плода	Гормональные и цитотоксические эффекты	0,2–0,5 мг/кг м.т./день

параметр делает возможной количественную оценку популяционного канцерогенного риска при хронической экспозиции акриламидом в продуктах питания, которая применялась на стадии характеристики риска в рамках данного исследования.

В многочисленных исследованиях сообщается об обнаружении акриламида в разных группах продуктов питания и в разных странах, но в обнаруженных концентрациях существуют значительные различия. В Европе средние концентрации акриламида составляют 300–700 мкг/кг в жареном картофеле, 150–350 мкг/кг – в печенье и крекерах, и 200–400 мкг/кг – в обжаренных кофейных зернах [8]. В результате Европейской комиссией (Директива ЕС 2017/2158) были установлены реперные уровни акриламида, призванные побудить производителей внедрять практики по снижению его содержания. Однако данные значения не являются юридически обязывающими и применяются в качестве рекомендательных уровней в управлении рисками здоровью⁴. Исследования по обнаружению акриламида в Азии также выявили значительные расхождения в его концентрациях в различных продуктах питания. В Китае обнаруженные уровни акриламида варьируются от 30 мкг/кг до свыше 1000 мкг/кг; акриламид был обнаружен в таких продуктах питания, как жареный картофель, печенье и блюда на основе обжаренных зерновых продуктов, что отражает влияние местных методов обработки и продовольственного сырья [9]. В Корее национальные исследования рынка, в рамках которых было проанализировано более 1000 различных обработанных продуктов питания, выявили широкий спектр концентраций акриламида – от незначительных, ниже предела обнаружения, до 1600 мкг/кг. Наиболее высокие уровни акриламида были обнаружены в жареных и печеных продуктах питания [10]. Подобные результаты были получены в исследованиях в Таиланде, где акриламид в концентрациях 45–820 мкг/кг был обнаружен в закусках после термической обработки и традици-

онных жареных продуктах [11]. В целом результаты данных исследований подчеркивают наличие значительных региональных различий в уровнях загрязнения акриламидом и экспозиции с продуктами питания в странах Азии, что объясняется различиями в приготовлении блюд, ингредиентах и температурах обработки.

Во Вьетнаме данные об уровнях загрязнения акриламидом появились относительно недавно. В исследовании в Ханое было проанализировано 304 популярных обработанных продукта питания, в которых был обнаружен акриламид в концентрациях от ниже предела обнаружения до 1280 мкг/кг; наиболее высокие уровни акриламида были выявлены в жареных закусках и обжаренных зернах кофе [12]. Более позднее исследование, проведенное Национальным институтом по контролю пищевых продуктов, выявило концентрации акриламида, достигающие 4605 мкг/кг в жареных и приготовленных на гриле блюдах с высоким содержанием углеводов [13]. С учетом того, что уровни потребления высокоуглеводных и жареных блюд во Вьетнаме традиционно высоки, целенаправленная оценка уровней акриламида в продуктах питания становится чрезвычайно важной для информирования государственных органов, ответственных за безопасность пищевой продукции, и гармонизации национальных практик оценки риска с принятыми на глобальном уровне.

Для оценки экспозиции с продуктами питания традиционно рассчитывается установленное суточное потребление (EDI), которое учитывает средние концентрации акриламида в продуктах питания (мкг/кг) и данные по объемам потребления соответствующего продукта питания (кг/день) и нормализуется по весу (кг). Данный параметр обеспечивает основу для расчета предела экспозиции (МОЕ) с использованием реперной дозы $BMDL_{10}$, установленной Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов. Сравнительные оценки предела экспозиции по воз-

⁴ Commission Regulation (EU) 2017/2158 of 20 November 2017 establishing mitigation measures and benchmark levels for the reduction of the presence of acrylamide in food [Электронный ресурс] // An official website of the European Union. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/2158/oj/eng> (дата обращения: 30.10.2025).

растным группам и категориям продуктов питания помогают выявить группы населения или продукты питания, вносящие наибольший вклад в общий уровень экспозиции. В предыдущих исследованиях в Европе поступление акриламида для взрослого населения оценивалось на уровне между 0,4 и 1,9 мкг/кг м.т./день, в то время как уровень экспозиции для детского населения был выше вследствие более значительного поступления в расчете на массу тела [8]. Средний уровень экспозиции с продуктами питания взрослого населения Малайзии был определен равным 0,18–0,32 мкг/кг м.т./день с основным вкладом таких продуктов питания, как кофе, жареные закуски и блюда на основе зерновых [14]. В Японии К. Kito et al. (2020) сообщили о сходных уровнях поступления акриламида (0,20–0,35 мкг/кг-сутки/день), но со значительными индивидуальными расхождениями, обусловленными рационами питания и особенностями приготовления блюд [15].

Цель исследования – сбор общенациональных данных об уровнях акриламида в обработанных продуктах питания во Вьетнаме и оценка связанного с ними риска здоровью. Результаты данного исследования должны обеспечить доказательную базу для разработки специализированных политик мониторинга и снижения содержания акриламида, которые должны соответствовать уникальным особенностям потребления продуктов питания населением Вьетнама.

Материалы и методы. Оценка экспозиции. Исследование было проведено на общенациональном уровне с целью учета северных, центральных и южных регионов Вьетнама. Для исследования были выбраны шесть провинций: Лао Чай, Тхуа Тхен Хьюэ, Куангчи, Тай Нинь, включая города Ханой и Хошимин. Территории характеризовались разным уровнем социальноэкономического развития и различными практиками обработки продуктов питания в процессе приготовления.

Репрезентативную выборку продуктов питания осуществляли на розничных рынках в трех регионах Вьетнама в 2023–2024 гг. Образцы продуктов питания измельчались и перемалывались до образования однородной массы; средний вес образца составлял 500 г. До анализа образцы хранились в течение месяца при температуре -20 °С. Концентрации акриламида определялись с использованием стандартизованного метода жидкостной хроматографии с термодесорбцией (ЖХ-МС/МС). Условия проведения анализа были следующими: подвижная фаза состояла из смеси воды с 0,1%-ной муравьиной кислотой (А) и метанолом (В) при градиентном элюировании 0,3 мл/мин с использованием масс-спектрометра SCIEX 6500 Triple Quad LC/MS (SCIEX, США) с колонкой Symmetry C18 (150 × 4,6 мм, 3,5 мкм) (Waters, США). Детекция осуществлялась в режиме мониторинга множественных реакций (MRM) с использованием ¹³C3-акриламида в качестве внутреннего стандарта. Применялось точное количество

(2,0 г) гомогенизированного образца. Аналит извлекался с использованием ацетонитрила и промывался перед анализом посредством дисперсионной твердофазной экстракции с применением метода жидкостной хроматографии – тандемной масс-спектрометрии (ЖХ-МС/МС).

Данные об уровнях потребления продуктов питания были получены путем проведения социологического исследования с применением полуколичественного опросника «Частота употребления продуктов питания» (Food Frequency Questionnaire (FFQ)), специально разработанного для данного исследования и фокусирующегося на частоте потребления обработанных продуктов и размере порции, типичных для каждого анализируемого региона. В исследовании приняли участие лица, постоянно проживающие в данном регионе на протяжении как минимум одного года до момента исследования; они были способны осуществлять нормальную коммуникацию и дали согласие на участие в исследовании. Списки участников были получены от местных органов управления с целью обеспечения точной идентификации и представительности сообщества.

Установленное суточное потребление (Estimated Daily Intake – EDI) рассчитывалось по формуле

$$EDI = \frac{Cons \cdot Intake Rate}{BW}, \quad (1)$$

где *Cons* – средняя концентрация акриламида (мкг/кг), *Intake Rate* – уровень суточного потребления (кг/день), а *BW* – масса тела (кг). Две последние величины были установлены при помощи опросника.

Цензурированные результаты определения, которые оказывались ниже предела обнаружения или квантификации (Limit of Detection – LOD или Limit of Quantitation – LOQ), считались по методу замещения или Каплана – Мейера. При применении метода замещения нижний предел считается равным нулю, в то время как верхний предел замещает LOD или LOQ, что делает оценку консервативной. В противном случае метод Каплана – Мейера обеспечивает непараметрическую альтернативу, которая включает цензурированные наблюдения без произвольного замещения. Считая значения ниже LOD / LOQ цензурированными и рассчитывая пошаговые вероятности выживаемости, данный метод конструирует эмпирическое распределение, что может сократить искажения. Он особенно удобен в случаях, когда доля цензурирования высока, обычно в пределах 60–80 % от набора данных, и когда метод простого замещения может значительно исказить оценку экспозиции [16].

Среднесуточное поступление в течение жизни (LADD) было рассчитано по формуле

$$LADD = \frac{Cons \cdot Intake Rate \cdot Exposure Duration}{BW \cdot Average Life Expectancy}, \quad (2)$$

где длительность экспозиции (*Exposure Duration*) определялась периодом времени, в течение которого происходил контакт; средняя продолжительность жизни (*Average Life Expectancy*) оценивалась равной 74,7 годам согласно отчету Национального статистического агентства Вьетнама в 2024 г.⁵ Для устранения неопределенностей значение LADD было рассчитано с применением результатов опроса. В частности, длительность экспозиции (ED) включала данные по годовой частоте потребления (дней/год); дневному поступлению (г/день) и массе тела (кг), согласно соответствующим данным опросника FFQ в разрезе возрастных групп (18–35, 35–50 лет, > 50 лет). Затем полученные результаты были суммированы для определения итогового значения LADD.

Характеристика риска. Предел экспозиции (МОЕ) был получен по формуле

$$MOE = \frac{BMDL_{10}}{EDI}. \quad (3)$$

Значения МОЕ были рассчитаны с применением реперных доз 0,43 мг/кг м.т./день для нейротоксических эффектов и 0,17 мг/кг м.т./день для канцерогенных эффектов. Значения МОЕ ниже 10 000 указывают на возможное наличие рисков здоровью, а значения ниже 1000 требуют приоритетных мер по управлению данным риском⁶.

Помимо этого, был рассчитан стабильно нарастающий пожизненный канцерогенный риск (ILCR) с применением фактора наклона в оценке канцерогенного риска при оральной экспозиции (CSF) и среднесуточного поступления в течение жизни (LADD):

$$ILCR = LADD \cdot CSF. \quad (4)$$

Фактор наклона (CSF) для акриламида, использованный в рамках данного исследования, составил 0,5 (мг/кг-сутки)⁷. Значение ILCR, превышающее $1 \cdot 10^{-4}$, считалось признаком наличия потенциального канцерогенного риска здоровью [17, 18].

Объединенная интерпретация значений предела экспозиции (МОЕ) и канцерогенного риска (ILCR) была использована для характеристики как относительных, так и абсолютных рисков здоровью вследствие экспозиции акриламидом для экспонированных потребителей во Вьетнаме.

Результаты и их обсуждение. Концентрации акриламида в образцах. Всего на розничных рынках, в супермаркетах и ночных магазинах в северных, центральных и южных районах Вьетнама в 2025 г. было приобретено 672 образца обработанных продуктов питания из восьми крупных продук-

товых категорий. Стратегия отбора образцов была разработана таким образом, чтобы включать популярные и широко распространенные продукты питания, часто потребляемые взрослым населением Вьетнама. В выборке были представлены как национальные, так и зарубежные бренды, что обеспечивало сбалансированную представительство типов продуктов питания и технологий обработки, делая возможной исчерпывающую оценку наличия акриламида в обработанных продуктах питания на рынке Вьетнама.

Все образцы приобретались в запечатанной упаковке, перевозились при температуре окружающей среды и гомогенизировались до начала анализа. Образцы хранились в полиэтиленовых контейнерах при температуре -20 °C до начала процедуры определения акриламида при помощи ЖХ-МС/МС.

В табл. 2 приведены количество проб и типы обработанных продуктов питания, включенных в настоящее исследование.

В табл. 2 представлены концентрации акриламида в основных категориях обработанных продуктов питания на рынке Вьетнама. Они отличаются большим разнообразием, что говорит о влиянии состава продуктовой матрицы и условий обработки. Итоговая средняя концентрация составила 168 ± 109 мкг/кг, а наибольшая – 750 мкг/кг. Наиболее высокая средняя концентрация (267 мкг/кг) была обнаружена в кофе (обжаренные зерна и растворимый порошок), затем следовали жареный / запеченный картофель (181 мкг/кг), выпечка, масла, соусы и эмульсии (165 мкг/кг). Эти продукты питания известны во всем мире как основные источники акриламида, возникающего в результате реакции Майяра между редуцирующими сахарами и аспарагином во время высокотемпературной жарки. Высокие концентрации акриламида в кофе согласуются с данными международных исследований, в которых повсеместно приводятся уровни акриламида, равные 200–500 мкг/кг в зависимости от уровня обжарки и разновидности зерен. Подобным образом концентрации, выявленные в выпечке и жареном картофеле, были сопоставимы с данными китайского (средняя концентрация ~ 180 мкг/кг) и малазийского (~ 220 мкг/кг) исследований, подтверждая соответствие обработанных углеводсодержащих продуктов на рынке Вьетнама среднему региональному уровню [14, 19]. Более низкие концентрации акриламида были установлены в маслах, соусах и эмульсиях (95 мкг/кг) и ферментированных напитках (108 мкг/кг). Это, вероятно, стало следствием применения большего количества воды в процессе приготовления и более короткого

⁵ Average life expectancy at birth by locality, broken down by Province / City and Year [Электронный ресурс] // National Statistics Office, Ministry of Finance, Viet Nam. – 2024. – URL: <https://www.nso.gov.vn/px-web-2/?pxid=V0225&theme=D%C3%A2n%20s%E1%BB%91%20v%C3%A0%20lao%20C4%91%E1%BB%99ng> (дата обращения: 02.11.2025).

⁶ Margin of Exposure [Электронный ресурс] // EFSA. – URL: <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/margin-exposure> (дата обращения: 02.11.2025).

⁷ Acrylamide CASRN 79-06-1 [Электронный ресурс] // US EPA. – URL: https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance_nmbr=286 (дата обращения: 30.10.2025).

Концентрации акриламида (мкг/кг) в различных группах продуктов питания во Вьетнаме

Группа продуктов питания	<i>n</i>	<i>n</i> * (%)	Среднее ± <i>SD</i> (мкг/кг) **	мин (мкг/кг)	макс (мкг/кг)	мин (мкг/кг)**	Описание / Основные характеристики продукта
Кофе (обжаренный и растворимый)	36	36 (100)	267 ± 51	161	385	271	Обжаренные зерна кофе и растворимый кофе основных розничных брендов
Жареный / запеченный картофель	108	100 (92,6)	181 ± 99	ND	406	182	Чипсы, жареные и запеченные закуски из картофеля, представители основной группы термически обработанных продуктов, богатых углеводами
Выпечка (печенье, пирожные, бисквиты)	108	104 (96,3)	165 ± 112	ND	566	138	Упакованные пирожные, бисквиты и сладкая выпечка
Сушеные овощи, зерновые и орехи	108	103 (95,4)	154 ± 91	LOQ	447	144	Жаренные или засушенные овощные чипсы, хлопья для завтрака и жареные орехи, такие как арахис и кешью
Масло, соусы и эмульсии	108	89 (82,4)	165 ± 154	ND	750	95	Соевое масло, арахисовые соусы, соусы чили, майонез
Ферментированные напитки	60	47 (78,3)	132 ± 78	LOQ	304	108	Пиво, рисовое вино и напитки на основе солода
Продукты на основе сыра и молока	108	60 (55,6)	161 ± 94	ND	367	138	Нарезанные сыры, обработанные сырные спреды и запеченные сырные закуски
Крахмалосодержащие продукты быстрого приготовления	36	25 (69,4)	134 ± 72	LOQ	277	140	Жареная и нежареная лапша быстрого приготовления, рисовая лапша быстрого приготовления и вермишель
Итого	672	564 (83,9)	168 ± 109	-	-	147	-

Примечание: *n** – количество проб с обнаруженным акриламидом; ** – данные были рассчитаны с применением образцов с концентрациями акриламида > LOQ.

периода термической обработки. Средние концентрации акриламида, обнаруженные в крахмалосодержащих продуктах быстрого приготовления, оказались ниже 140 мкг/кг. Это было сопоставимо с данными сингапурского исследования, в котором сообщалось об уровнях акриламида в подобных продуктах, равных 100–150 мкг/кг [20]. Максимальная концентрация 750 мкг/кг, обнаруженная в соусах и спредах, говорит о возможном наличии местных «горячих точек», связанных с продолжительной жаркой или карамелизацией ингредиентов. В целом уровни акриламида, обнаруженные во вьетнамских продуктах питания, совпадают с данными исследований, проведенных в Восточной и Юго-Восточной Азии.

Данные по потреблению. Данные по потреблению данных продуктов питания были получены при помощи полуколичественного опросника «Частота употребления продуктов питания» (Food Frequency Questionnaire (FFQ)). В опросе приняли участие 2160 респондентов. В табл. 3 приведены данные по суточному поступлению (среднее ± *SD*, г/день) восьми основных категорий обработанных продуктов, стратифицированные по региону, полу, возрастной группе и региону проживания; *n* обозначает количество респондентов в каждой подгруппе. Данная структура дала возможность прямого срав-

нения уровней поступления и их вариабельности в разрезе демографических групп, что обеспечило необходимую основу для последующей оценки экспозиции и среднесуточного поступления в течение жизни (LADD).

В целом наиболее высокие уровни потребления были зафиксированы для крахмалосодержащих продуктов быстрого приготовления и жареного / запеченного картофеля, что указывает на данные продукты как основные источники экспозиции акриламидом. Уровни потребления в южном регионе были выше, чем в центральном и северном регионах, что, вероятно, говорит о более высоком уровне урбанизации и доступе к обработанным продуктам питания. Мужчины и молодые взрослые (в возрасте 18–35 лет) потребляли больше продуктов с высоким содержанием калорий, таких как жареные закуски и лапша быстрого приготовления. В целом уровень потребления обработанных продуктов питания был выше среди городского населения, а потребление сыра и молока было выше в южном регионе.

Данные по потреблению, приведенные в настоящем исследовании, показывают, что для взрослого населения Вьетнама характерен один из самых выраженных в Азии переходов к рационам из обработанных продуктов. Среднесуточное поступление жареного / запеченного картофеля (~ 95 г/день)

Таблица 3

Суточное потребление обработанных продуктов питания в разрезе демографических характеристик

Категория	Подгруппа	Сушеные овощи, зерновые и орехи		Кофе		Жареный / запеченный картофель		Выпечка		Масло, соусы и эмульсии		Ферментированные напитки		Продукты на основе сыра и молока		Крахмало-содержащие продукты быстрого приготовления	
		n	Среднее ± SD (г/день)	n	Среднее ± SD (г/день)	n	Среднее ± SD (г/день)	n	Среднее ± SD (г/день)	n	Среднее ± SD (г/день)	n	Среднее ± SD (мл/день)	n	Среднее ± SD (г/день)	n	Среднее ± SD (г/день)
Все респонденты	Все участники	831	58,1 ± 40,6	998	25,3 ± 14,6	539	95,6 ± 77,2	1066	55,8 ± 38,6	473	19,9 ± 16,5	851	217 ± 171	242	38,2 ± 27,9	1607	90,7 ± 53,1
Региональные группы	Север	269	50,2 ± 36,5	267	16,1 ± 12,9	236	100 ± 81,1	378	63,2 ± 43,8	177	13,5 ± 13,6	276	198 ± 166	68	40,1 ± 29,3	535	88,1 ± 48,1
	Центр	207	52,3 ± 31,4	296	24,3 ± 10,8	80	84,4 ± 77,6	298	44,5 ± 27,2	79	17,4 ± 14,2	227	222 ± 162	35	24,8 ± 16,3	470	76,0 ± 43,0
	Юг	355	67,4 ± 46,1	435	31,7 ± 14,7	223	94,7 ± 72,8	390	57,2 ± 38,8	217	26,1 ± 17,2	348	231 ± 180	139	40,6 ± 28,8	602	104 ± 60,5
Пол	Мужчины	315	65,7 ± 46,7	528	25,6 ± 15,7	233	101 ± 82,0	420	60,0 ± 45,0	200	18,3 ± 15,8	556	234 ± 176	106	40,2 ± 28,8	698	93,6 ± 53,3
	Женщины	516	53,4 ± 35,7	470	25,1 ± 13,4	306	91,4 ± 73,3	646	53,0 ± 33,6	273	21,4 ± 16,9	295	187 ± 159	136	36,6 ± 27,2	909	88,4 ± 52,9
Возраст, лет	18–35	287	63,1 ± 46,9	341	25,1 ± 15,1	233	96,8 ± 83,4	365	67,5 ± 49,5	200	21,4 ± 16,8	323	245 ± 182	133	41,2 ± 29,9	512	97,3 ± 56,8
	35–50	250	61,1 ± 37,1	344	23,9 ± 13,4	162	95,3 ± 69,5	317	50,8 ± 28,8	138	19,9 ± 16,4	305	224 ± 170	68	32,4 ± 22,6	520	89,3 ± 50,8
	> 50	294	50,7 ± 35,6	313	27,1 ± 15,2	144	94,0 ± 75,5	384	48,8 ± 30,5	135	17,7 ± 16,0	223	169 ± 145	41	37,9 ± 28,3	575	86,1 ± 51,2
Район проживания	Город	420	60,2 ± 41,4	472	24,5 ± 15,7	283	88,7 ± 68,7	503	55,2 ± 39,7	294	18,3 ± 15,2	389	227 ± 170	144	35,6 ± 27,0	675	84,0 ± 50,6
	Сельская местность	411	55,9 ± 39,7	526	26,0 ± 13,5	256	103 ± 85,1	563	56,3 ± 37,6	179	22,5 ± 18,2	462	210 ± 173	98	41,9 ± 29,0	932	95,5 ± 54,3

и крахмалосодержащих продуктов быстрого приготовления (~ 91 г/день) заметно выше уровней, установленных в Индонезии, где общая доля ультраобработанных продуктов питания составляет примерно 19,5 % всего рациона [21]. По сравнению с Малайзией и Сингапуром, где вклад обработанных и высокообработанных продуктов составляет 20–25 % общего потребления энергии [22, 23], поступление во Вьетнаме, оцениваемое в абсолютном количестве граммов, оказывается выше, в особенности для крахмалосодержащих продуктов быстрого приготовления и обработанных продуктов из картофеля. И, наоборот, потребление таких продуктов на душу населения ниже в Китае и Южной Корее (в среднем, примерно 60 г/день ультраобработанных продуктов), но структура потребления отличается большим разнообразием и включает сладкие напитки и упакованную выпечку [24, 25].

Установленное суточное поступление (EDI) и предел экспозиции (MOE). Установленное суточное поступление EDI и соответствующие значения предела экспозиции MOE для акриламида в восьми основных категориях обработанных продуктов питания приведены в табл. 4. Значения EDI были рассчитаны на основании установленных концентраций акриламида и индивидуальных уровней потребления продуктов питания. Предел экспозиции MOE был получен с использованием нижних пределов доверительных интервалов реперной дозы ($BMDL_{10} = 0,43$ мг/кг м.т./день для нейротоксических эффектов и $0,17$ мг/кг м.т./день для канцерогенных эффектов). Значения EDI варьировались от $0,049$ до $0,398$ мг/кг м.т./день для всех групп продуктов питания, в то время как значения MOE находились в диапазоне между 430 и > 8000 , отражая значительные различия в потенциальной экспозиции в разрезе групп продуктов и демографических групп.

Данные по установленному суточному потреблению (EDI), представленные в табл. 4, показали, что экспозиция акриламидом для взрослого населения Вьетнама сопоставима или незначительно превышает уровни, установленные в прочих странах Азии. Средние значения EDI варьировались от $0,048$ мг/кг м.т./день (масла, соусы и эмульсии) до $0,98$ мг/кг м.т./день (ферментированные напитки). Для сравнения: средний уровень экспозиции с продуктами питания в Малайзии составил $0,229$ мг/кг м.т./день, а значения 95-го перцентиля достигали $1,77$ мг/кг м.т./день [14], в то время как в Сингапуре был установлен средний уровень экспозиции $0,165$ мг/кг м.т./день соответственно [20]. В Южной Корее общенациональное исследование установило более низкий средний уровень экспозиции, примерно равный $0,08$ мг/кг м.т./день [26]. Что касается европейских популяций, оценка Европейского агентства по безопасности пищевых продуктов содержит данные о среднем уровне экспозиции взрослого населения, равном $0,4–0,9$ мг/кг м.т./день, но он выше для тех, кто потребляет подобные продукты в больших объемах, и составляет $1,9$ мг/кг м.т./день [8]. В 2021 г. систематический обзор 101 исследования, проведенного в 26 странах, выявил, что средние уровни поступления акриламида с продуктами питания составляют $0,02–1,53$ мг/кг м.т./день. Большая часть этих исследований была проведена в Европе, Азии и США, а оценки в большинстве своем основывались на данных опросников о частоте потребления / воспроизведении дневников питания (57 и 33 исследования соответственно) [27]. Для сравнения: оценки, полученные в рамках данного исследования для взрослого населения Вьетнама, установили средние уровни EDI в диапазоне $0,048–0,398$ мг/кг м.т./день (метод Каплана – Мейера). Наиболее низкие значения были получены для масел, соусов и эмульсий, а наиболее высокие – для ферментированных напитков.

Установленное суточное потребление (EDI) и предел экспозиции (МОЕ) акриламидом

Группа	Доля данных ниже LOD (%)	EDI (мкг/кг м.т./день)					Предел экспозиции нейротоксичность (BMDL ₁₀ = 0,43 мкг/кг м.т./день)					Предел экспозиции канцерогенность (BMDL ₁₀ = 0,17 мкг/кг м.т./день)				
		НП среднее	НП P95	ВП среднее	ВП P95	Каплан – Мейер	НП среднее	НП P95	ВП среднее	ВП P95	Каплан – Мейер	НП среднее	НП P95	ВП среднее	ВП P95	Каплан – Мейер
Сушеные овощи, зерновые и орехи	4,63 %	0,151	0,368	0,152	0,371	0,152	2848	1168	2829	1159	2829	1126	462	1118	458	1118
Кофе	0,00 %	0,116	0,246	0,116	0,246	0,116	3707	1748	3707	1748	3707	1466	691	1466	691	1466
Жареный/запеченный картофель	7,41 %	0,285	0,743	0,288	0,751	0,285	1509	579	1493	573	1509	596	229	590	226	596
Выпечка	3,70 %	0,158	0,353	0,159	0,355	0,158	2722	1218	2704	1211	2722	1076	482	1069	479	1076
Масло, соусы и эмульсии	17,6 %	0,048	0,136	0,049	0,139	0,048	8958	3162	8776	3094	8958	3542	1250	3469	1223	3542
Ферментированные напитки	21,7 %	0,375	0,942	0,398	1,001	0,384	1147	456	1080	430	1120	453	180	427	170	443
Продукты на основе сыра и молока	44,4 %	0,06	0,162	0,069	0,186	0,06	7167	2654	6232	2312	7167	2833	1049	2464	914	2833
Продукты на основе сыра и молока	30,6 %	0,149	0,34	0,163	0,374	0,156	2886	1265	2638	1150	2756	1141	500	1043	455	1090
Итого		1,342	3,290	1,394	3,423	1,359						316				125

При рассмотрении кумулятивной экспозиции общее установленное суточное потребление (EDI) для всех восьми анализируемых групп продуктов питания (рассчитанное по методу Каплана – Мейера) составило 1,36 мкг/кг м.т./день. Этот совокупный уровень экспозиции позволил определить итоговое значение МОЕ, равное примерно 125 для канцерогенного действия (на основании BMDL₁₀ = 0,17 мкг/кг м.т./день) и 316 для нейротоксического действия (на основании BMDL₁₀ = 0,43 мкг/кг м.т./день). Поскольку данные значения существенно ниже порога безопасности, равного 10 000, и даже ниже уровня 1000, требуются приоритетные меры по управлению риском здоровью, формируемым совокупным потреблением данных продуктов для взрослого населения Вьетнама.

Значения предела экспозиции МОЕ, полученные в рамках данного исследования, находятся в полном соответствии с данными международных исследований, хотя для некоторых групп продуктов наблюдаются объяснимые расхождения. Как показано в табл. 4, наиболее высокие значения МОЕ были связаны с ферментированными напитками и жареным / запеченным картофелем, что отражает ведущую роль богатых углеводами и термически обработанных продуктов в поступлении акриламида. Соответствующие значения предела экспозиции варьировались в широком диапазоне: от 1080 до 8776 для нейротоксических эффектов и от 427 до 3469 для канцерогенных эффектов. Это говорит о потенциальной

угрозе здоровью людей, потребляющих определенные продукты в больших объемах, значения МОЕ для которых превышают установленный порог 1000, указывающий, по мнению экспертов Европейского агентства по безопасности продуктов питания, на возможный риск здоровью [8]. В оценке Агентства, в 2015 г. для европейских популяций приводятся общие значения предела экспозиции для канцерогенных эффектов, равные 200–800 [8], в то время как Шестое общее исследование рационов, проведенное в Китае и Сингапуре, в основном, установило пределы экспозиции МОЕ выше 300–1000 [19, 20], в зависимости от особенностей рациона. Значения предела экспозиции для жареного / запеченного картофеля и кофе находятся в схожем диапазоне, указывая на сопоставимый уровень риска. Однако категории с более высоким уровнем экспозиции, в особенности крахмалосодержащие продукты быстрого приготовления и продукты на основе сыра и молока, показывают более низкие значения предела экспозиции МОЕ при использовании верхнего предела, чем установленные в более ранних исследованиях рационов. Это говорит об относительно более высоком уровне угрозы, связанной с их потреблением.

Во всех анализируемых группах продуктов доля цензурированных данных значительно варьируется от нуля для кофе до 44,4 % для продуктов на основе сыра и молока, что оказывает прямое влияние на неопределенности в оценках экспози-

ции. Группы продуктов с низкой долей цензурированных данных (например, овощи или выпечка) показывают минимальные расхождения между значениями верхнего предела, нижнего предела и метода Каплана – Мейера, что говорит о стабильности наборов данных. В то же время в группах со средним и высоким уровнем цензурирования ($\geq 20\%$) обнаруживаются большие разрывы между оценками верхнего и нижнего предела, и это отражает большую вариабельность данных. В группе кофе с нулевой долей цензурированных данных обнаружены идентичные значения верхнего предела, нижнего предела и метода Каплана – Мейера, что указывает на высокую надежность данных. И, наоборот, группы продуктов на основе сыра и молока (44,4 %) и крахмалосодержащих продуктов быстрого приготовления (30,6 %) показали выраженные расхождения между значениями верхнего и нижнего пределов почти до двух раз для некоторых пределов экспозиции, что говорит о большей неопределенности вследствие необнаруженных результатов. Ферментированные напитки (21,7 %) также показали значительные расхождения, где оценки верхнего предела значительно превышали оценки нижнего предела, отражая влияние замещенных значений предела квантификации LOQ. В группах со средним и высоким уровнем цензурирования метод Каплана – Мейера позволяет получить более стабильные промежуточные оценки, сокращая угрозу переоценки с применением верхнего предела и недооценки с применением нижнего предела и предлагая более реалистичный центральный тренд для характеристики риска.

Среднесуточное поступление в течение жизни (LADD) и стабильно нарастающий пожизненный канцерогенный риск (ILCR). Установленная пожизненная экспозиция акриламидом была рассчитана для оценки потенциальных канцерогенных рисков, связанных с повсеместным потреблением некоторых групп обработанных продуктов во Вьетнаме. Среднесуточное поступление в течение

жизни (LADD) и соответствующий канцерогенный риск (CR) были получены с применением среднего значения, медианы и 95-го перцентиля поступления и моделей экспозиции, скорректированных с учетом массы тела. В табл. 5 приведены установленные значения LADD и CR для восьми анализируемых групп продуктов, включая кофе, жареный / запеченный картофель, выпечку, крахмалосодержащие продукты быстрого приготовления и др.

В табл. 5 представлены установленные уровни среднесуточного потребления в течение жизни LADD (мкг/кг м.т./день) и соответствующий стабильно нарастающий пожизненный канцерогенный риск ILCR акриламида по восьми основным группам обработанных продуктов. Средние значения LADD варьируются от 0,00822 до 0,109 мкг/кг м.т./день, а соответствующий канцерогенный риск ILCR – от $4,1 \cdot 10^{-6}$ до $5,45 \cdot 10^{-5}$. По оценке на основе 95-го перцентиля значения LADD существенно возрастают, достигая 0,244 мкг/кг м.т./день для жареного / запеченного картофеля (ILCR = $1,22 \cdot 10^{-4}$). В целом кофе и крахмалосодержащие продукты быстрого приготовления также вносят значительный вклад в общий уровень экспозиции. Оценки стабильно нарастающего пожизненного канцерогенного риска в основном остаются в диапазоне от $1 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-4}$, указывая на относительно низкий (с увеличением до умеренного) пожизненный канцерогенный риск при типичном питании. Совокупная оценка риска показывает, что общее среднее значение LADD по всем анализируемым группам продуктов достигает 0,390 мкг/кг м.т./день, что говорит о наличии кумулятивного уровня ILCR, равного $1,95 \cdot 10^{-4}$. Данный уровень пожизненного канцерогенного риска превышает установленный допустимый порог $1 \cdot 10^{-4}$, обращая внимание на тот факт, что, хотя потребление отдельных групп продуктов может формировать низкие и умеренные риски, кумулятивное поступление акриламида с разными обработанными продуктами питания является проблемой для системы здравоохранения Вьетнама.

Таблица 5

Среднесуточное поступление в течение жизни (LADD) и пожизненный канцерогенный риск (ILCR)

Группа	Среднее		95-й перцентиль	
	LADD (мкг/кг м.т./день)	ILCR	LADD (мкг/кг м.т./день)	ILCR
Сушеные овощи, зерновые и орехи	0,0503	$2,52 \cdot 10^{-5}$	0,158	$7,90 \cdot 10^{-5}$
Кофе	0,0621	$3,11 \cdot 10^{-5}$	0,134	$6,70 \cdot 10^{-5}$
Жареный / запеченный картофель	0,0582	$2,91 \cdot 10^{-5}$	0,244	$1,22 \cdot 10^{-4}$
Выпечка	0,0324	$1,62 \cdot 10^{-5}$	0,0944	$4,72 \cdot 10^{-5}$
Масла, соусы и эмульсии	0,0135	$6,75 \cdot 10^{-6}$	0,0428	$2,14 \cdot 10^{-5}$
Ферментированные напитки	0,109	$5,45 \cdot 10^{-5}$	0,295	$1,48 \cdot 10^{-4}$
Продукты на основе сыра и молока	0,00822	$4,11 \cdot 10^{-6}$	0,0257	$1,29 \cdot 10^{-5}$
Крахмалосодержащие продукты быстрого приготовления	0,0559	$2,80 \cdot 10^{-5}$	0,138	$6,90 \cdot 10^{-5}$
Итого	0,3896	$1,95 \cdot 10^{-4}$	1,132	$5,66 \cdot 10^{-4}$

Выводы. В данном исследовании представлена исчерпывающая характеристика присутствия акриламида в продуктах питания и уровни экспозиции при потреблении популярных групп обработанных продуктов питания населением Вьетнама. Акриламид обнаруживался в продуктах из каждой изученной группы, а наиболее высокие концентрации были выявлены в кофе, жареном / запеченном картофеле и выпечке. Установленное суточное поступление позволило выявить низкие уровни предела экспозиции МОЕ для канцерогенных эффектов, что указывает на наличие рисков здоровью и совпадает с более ранними международными исследованиями. В частности, наиболее низкие значения МОЕ и наиболее высокие уровни канцерогенного риска для верхних перцентилей потребления были установлены для крахмалосодержащих продуктов, закусок из картофеля и ферментированных напитков. Результаты данного исследования подчеркивают необходи-

мость разработки стратегий снижения приоритетных рисков здоровью, ориентированных на продукты питания с высоким содержанием акриламида. Для более эффективной охраны здоровья населения также необходим постоянный мониторинг и совершенствование условий обработки продуктов в процессе приготовления.

Финансирование. Данное исследование было профинансировано Министерством здравоохранения в рамках проекта «Оценка риска здоровью, связанного с определенными загрязняющими веществами в обработанных продуктах питания во Вьетнаме».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соответствие этическим стандартам. Проведенное исследование осуществлялось в соответствии с общепринятыми практиками проведения социологических опросов и с соблюдением всех стандартных процедур для защиты персональных данных.

Список литературы

1. Mottram D.S., Wedzicha B.L., Dodson A.T. Acrylamide is formed in the Maillard reaction // *Nature*. – 2002. – Vol. 419, № 6906. – P. 448–449. DOI: 10.1038/419448a
2. Stadler R.H. Acrylamide Formation in Different Foods and Potential Strategies for Reduction // In book: *Chemistry and Safety of Acrylamide in Food* / ed. by M. Friedman, D. Mottram. – Boston, MA: Springer US, 2005. – P. 157–169.
3. Zhang Y., Zhang G., Zhang Y. Occurrence and analytical methods of acrylamide in heat-treated foods. Review and recent developments // *J. Chromatogr. A*. – 2005. – Vol. 1075, № 1–2. – P. 1–21. DOI: 10.1016/j.chroma.2005.03.123
4. Potential of Acrylamide Formation, Sugars, and Free Asparagine in Potatoes: A Comparison of Cultivars and Farming Systems / T.M. Amrein, S. Bachmann, A. Noti, M. Biedermann, M.F. Barbosa, S. Biedermann-Brem, K. Grob, A. Keiser [et al.] // *J. Agric. Food Chem.* – 2003. – Vol. 51, № 18. – P. 5556–5560. DOI: 10.1021/jf034344v
5. Rashedinia M., Karimi G. Acrylamide // In book: *Encyclopedia of Toxicology*: in 9 volumes. – 2024. – 4th ed. – Vol. 1. – P. 125–133. DOI: 10.1016/B978-0-12-824315-2.00164-0
6. Cebi A. Chapter 4. Acrylamide Intake, Its Effects on Tissues and Cancer // In book: *Acrylamide in Food* / ed. by V. Gokmen. – Elsevier, 2016. – P. 63–91. DOI: 10.1016/B978-0-12-802832-2.00004-8
7. The Genotoxicity of Acrylamide and Glycidamide in Big Blue Rats / N. Mei, L.P. McDaniel, V.N. Dobrovolsky, X. Guo, J.G. Shaddock, R.A. Mittelstaedt, M. Azuma, S.D. Shelton [et al.] // *Toxicol. Sci.* – 2010. – Vol. 115, № 2. – P. 412–421. DOI: 10.1093/toxsci/kfq069
8. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on acrylamide in food // *EFSA Journal*. – 2015. – Vol. 13, № 6. – P. 4104. DOI: 10.2903/j.efsa.2015.4104
9. Survey of acrylamide levels in Chinese foods / F. Chen, Y. Yuan, J. Liu, G. Zhao, X. Hu // *Food Addit. Contam. Part B Surveill.* – 2008. – Vol. 1, № 2. – P. 85–92. DOI: 10.1080/02652030802512461
10. Jeong H., Hwang S., Kwon H. Survey for acrylamide in processed foods from Korean market and individual exposure estimation using a non-parametric probabilistic model // *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Expo. Risk Assess.* – 2020. – Vol. 37, № 6. – P. 916–930. DOI: 10.1080/19440049.2020.1746410
11. Komthong P., Suriyaphan O., Charoenpanich J. Determination of acrylamide in Thai-conventional snacks from Nong Mon market, Chonburi using GC-MS technique // *Food Addit. Contam. Part B Surveill.* – 2012. – Vol. 5, № 1. – P. 20–28. DOI: 10.1080/19393210.2012.656145
12. Acrylamide in daily food in the metropolitan area of Hanoi, Vietnam / Y.D. Hai, T.-T. Tran-Lam, T.Q. Nguyen, N.D. Vu, K.H. Ma, G.T. Le // *Food Addit. Contam. Part B Surveill.* – 2019. – Vol. 12, № 3. – P. 159–166. DOI: 10.1080/19393210.2019.1576774
13. Premised research on dietary exposure to benzo[a]pyrene, acrylamide, and Nnitrosodimethylamine from common fried and grilled dishes in North Vietnam / N.T.H. Ngoc, B.C. Tien, T.T. Giang, T.C. Son // *Vietnam J. Food Control*. – 2024. – Vol. 7, № 4. – P. 613–626. DOI: 10.47866/2615-9252/vjfc.4421
14. Dietary exposure to acrylamide among the Malaysian adult population / J.N. Hidayah, A.F.A. Razis, N.N. Jambari, L.C. Chai, L. You, M. Sanny // *Food Chem. Toxicol.* – 2024. – Vol. 185. – P. 114502. DOI: 10.1016/j.fct.2024.114502
15. Variations in the estimated intake of acrylamide from food in the Japanese population / K. Kito, J. Ishihara, J. Yamamoto, T. Hosoda, A. Kotemori, R. Takachi, K. Nakamura, J. Tanaka [et al.] // *Nutr. J.* – 2020. – Vol. 19, № 1. – P. 17. DOI: 10.1186/s12937-020-00534-y
16. European Food Safety Authority. Management of left-censored data in dietary exposure assessment of chemical substances // *EFSA Journal*. – 2010. – Vol. 8, № 3. – P. 1557. DOI: 10.2903/j.efsa.2010.1557
17. Safety evaluation of certain contaminants in food // *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) Monographs*. – 2011. – 799 p.

18. WHO. Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food [Электронный ресурс] // IPCS INCHEM. – 2009. – URL: https://inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc240_index.htm (дата обращения: 21.08.2025).
19. Exposure to Acrylamide in the Sixth Total Diet Study – China, 2016–2019 / F. Zhu, Y. Wang, H. Liu, B. Lyu, D. Chen, J. Li, W. Ji, Y. Zhao, Y. Wu // China CDC Wkly. – 2022. – Vol. 4, № 9. – P. 161–164. DOI: 10.46234/ccdcw2022.040
20. Occurrence and Dietary Exposure to Acrylamide from Foods Consumed within and outside Main Meals in Singapore / W.Z. Yu, P. Shen, I. Lim, R.R.S. Shi, M. Cai, Y.S. Chin, A.J. Tay, W.M. Ang [et al.] // Foods. – 2023. – Vol. 12, № 16. – P. 3022. DOI: 10.3390/foods12163022
21. Setyowati D., Andarwulan N., Giriwono P.E. Processed and ultraprocessed food consumption pattern in the Jakarta Individual Food Consumption Survey 2014 // Asia Pac. J. Clin. Nutr. – 2018. – Vol. 27, № 4. – P. 840–847. DOI: 10.6133/apjcn.062017.01
22. Consumption Patterns of Processed Foods in Singapore – A Cross-Sectional Study / P. Gan, J.C. Er, K. Chow, B. Er, J.S.H. Chan, A. Li, K.T. Aung // Foods. – 2022. – Vol. 11, № 18. – P. 2782. DOI: 10.3390/foods11182782
23. Ultra-processed Food Consumption in Relation to BMI and Body Fat Percentage of Adults in Terengganu / A. Ali, N.A. Khasbullah, F.T. Ahmad, H.M. Yusof // Mal. J. Med. Health Sci. – 2020. – Vol. 16, № 1. – P. 37–43.
24. Association between Ultra-processed Food Consumption and Dietary Intake and Diet Quality in Korean Adults / J.-S. Shim, S.-Y. Shim, H.-J. Cha, J. Kim, H.C. Kim // J. Acad. Nutr. Diet. – 2022. – Vol. 122, № 3. – P. 583–594. DOI: 10.1016/j.jand.2021.07.012
25. Li M., Shi Z. Ultra-processed food consumption and obesity among children and adolescents in China-Findings from China Health and Nutrition Survey // Pediatr. Obes. – 2025. – Vol. 20, № 7. – P. e70012. DOI: 10.1111/ijpo.70012
26. Lee S., Kim H.J. Dietary Exposure to Acrylamide and Associated Health Risks for the Korean Population / Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2020. – Vol. 17, № 20. – P. 7619. DOI: 10.3390/ijerph17207619
27. A Review of Dietary Intake of Acrylamide in Humans / C.A.G. Timmermann, S.S. Mølck, M. Kadawathagedara, A.A. Bjerregaard, M. Törnqvist, A.L. Brantsæter, M. Pedersen // Toxics. – 2021. – Vol. 9, № 7. – P. 155. DOI: 10.3390/toxics9070155

Акриламид в обработанных продуктах питания и оценка риска здоровью, обусловленного его наличием: опыт Республики Вьетнам / Тран Као Сон, Нгуен Тхи Хонг Нгок, Кью Ван Анх, Тран Ху Хью, Фам Тхи Тханх Ха // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 65–77. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.06

UDC 614.31

DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.06.eng



Research article

THE OCCURRENCE AND DIETARY RISK ASSESSMENT OF ACRYLAMIDE IN VIETNAMESE PROCESSED FOODS

**Tran Cao Son^{1,2}, Nguyen Thi Hong Ngoc^{1,2}, Kieu Van Anh¹, Tran Huy Hieu¹,
Pham Thi Thanh Ha²**

¹National Institute for Food Control, 65 Pham Than Duat Str., Hanoi, Vietnam

²Hanoi University of Pharmacy, 13-15 Le Thanh Tong Str., Hanoi, Vietnam

Acrylamide is a heat-induced contaminant with potential carcinogenicity (IARC Group 2A). This study aimed to determine the occurrence and estimate the dietary exposure to acrylamide in commonly consumed processed foods in Vietnam.

© Tran Cao Son, Nguyen Thi Hong Ngoc, Kieu Van Anh, Tran Huy Hieu, Pham Thi Thanh Ha, 2026

Tran Cao Son – Candidate of Pharmaceutical Sciences, Deputy Director General; Associate Professor (e-mail: sontc@nifc.gov.vn; tel.: +84-98-868-3282; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9779-2715>).

Nguyen Thi Hong Ngoc – Master of Pharmacy, Laboratory Manager, Researcher; PhD Student (e-mail: ngocnth@nifc.gov.vn; tel.: +84-24-322-62-237; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1861-0857>).

Kieu Van Anh – Bachelor's degree in Chemistry, Researcher (e-mail: kieuvananh110010@gmail.com; tel.: +84-37-818-4675; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4139-9318>).

Tran Huy Hieu – Bachelor's degree in Food and Nutrition Science, Researcher (e-mail: hieu.huytran02@gmail.com; tel.: +84-36-240-5315; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3071-5423>).

Pham Thi Thanh Ha – Doctor of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor, Senior Lecturer, Vice Dean of Faculty of Analytical Chemistry and Drug Quality Control (e-mail: thanhha.pham@hup.edu.vn; tel.: +84-24-393-32-332; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2644-7620>).

Representative food samples were collected from retail markets and supermarkets across major cities. Acrylamide was quantified using a validated LC-MS/MS method. Estimated daily intake (EDI) was calculated based on adult food consumption data. The margin of exposure (MOE) was derived using the European Food Safety Authority (EFSA)'s benchmark dose lower confidence limit (BMDL₁₀) of 0.43 mg/kg bw/day for neurotoxicity and 0.17 mg/kg bw/day for carcinogenicity.

Acrylamide was detected across all major food groups, with an overall mean concentration of 168 ± 109 µg/kg. The highest average concentrations were found in roasted and instant coffee (267 ± 51 µg/kg) and fried/baked potato products (181 ± 99 µg/kg). The estimated overall mean EDI for Vietnamese adults was approximately 1.36 µg/kg bw/day. The incremental lifetime cancer risk (ILCR) at the P95 percentile exceeded the 1·10⁻⁴ threshold for two food groups. The findings indicate a potential public health concern, particularly for high consumers, and suggest performing targeted risk management measures, focusing on mitigating concentrations in potato snacks, instant starch products, and fermented beverages.

Keywords: acrylamide, processed foods, carcinogenicity, exposure assessment, estimated daily intake, margin of exposure, risk assessment, incremental lifetime cancer risk, Vietnam.

References

1. Mottram D.S., Wedzicha B.L., Dodson A.T. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*, 2002, vol. 419, no. 6906, pp. 448–449. DOI: 10.1038/419448a
2. Stadler R.H. Acrylamide Formation in Different Foods and Potential Strategies for Reduction. In book: *Chemistry and Safety of Acrylamide in Food*; M. Friedman, D. Mottram eds. Boston, MA, Springer US Publ., 2005, pp. 157–169.
3. Zhang Y., Zhang G., Zhang Y. Occurrence and analytical methods of acrylamide in heat-treated foods. Review and recent developments. *J. Chromatogr. A*, 2005, vol. 1075, no. 1–2, pp. 1–21. DOI: 10.1016/j.chroma.2005.03.123
4. Amrein T.M., Bachmann S., Noti A., Biedermann M., Barbosa M.F., Biedermann-Brem S., Grob K., Keiser A. [et al.]. Potential of Acrylamide Formation, Sugars, and Free Asparagine in Potatoes: A Comparison of Cultivars and Farming Systems. *J. Agric. Food Chem.*, 2003, vol. 51, no. 18, pp. 5556–5560. DOI: 10.1021/jf034344v.
5. Rashedinia M., Karimi G. Acrylamide. In book: *Encyclopedia of Toxicology: in 9 volumes*, 4th ed., 2024, vol. 1, pp. 125–133. DOI: 10.1016/B978-0-12-824315-2.00164-0
6. Cebi A. Chapter 4. Acrylamide Intake, Its Effects on Tissues and Cancer. In book: *Acrylamide in Food*; V. Gokmen ed. Elsevier Publ., 2016, pp. 63–91. DOI: 10.1016/B978-0-12-802832-2.00004-8
7. Mei N., McDaniel L.P., Dobrovolsky V.N., Guo X., Shaddock J.G., Mittelstaedt R.A., Azuma M., Shelton S.D. [et al.]. The Genotoxicity of Acrylamide and Glycidamide in Big Blue Rats. *Toxicol. Sci.*, 2010, vol. 115, no. 2, pp. 412–421. DOI: 10.1093/toxsci/kfq069
8. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on acrylamide in food. *EFSA Journal*, 2015, vol. 13, no. 6, pp. 4104. DOI: 10.2903/j.efsa.2015.4104
9. Chen F., Yuan Y., Liu J., Zhao G., Hu X. Survey of acrylamide levels in Chinese foods. *Food Addit. Contam. Part B Surveill.*, 2008, vol. 1, no. 2, pp. 85–92. DOI: 10.1080/02652030802512461
10. Jeong H., Hwang S., Kwon H. Survey for acrylamide in processed foods from Korean market and individual exposure estimation using a non-parametric probabilistic model. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Expo. Risk Assess.*, 2020, vol. 37, no. 6, pp. 916–930. DOI: 10.1080/19440049.2020.1746410
11. Komthong P., Suriyaphan O., Charoenpanich J. Determination of acrylamide in Thai-conventional snacks from Nong Mon market, Chonburi using GC-MS technique. *Food Addit. Contam. Part B Surveill.*, 2012, vol. 5, no. 1, pp. 20–28. DOI: 10.1080/19393210.2012.656145
12. Hai Y.D., Tran-Lam T.-T., Nguyen T.Q., Vu N.D., Ma K.H., Le G.T. Acrylamide in daily food in the metropolitan area of Hanoi, Vietnam. *Food Addit. Contam. Part B Surveill.*, 2019, vol. 12, no. 3, pp. 159–166. DOI: 10.1080/19393210.2019.1576774
13. Ngoc N.T.H., Tien B.C., Giang T.T., Son T.C. Premised research on dietary exposure to benzo[a]pyrene, acrylamide, and Nnitrosodimethylamine from common fried and grilled dishes in North Vietnam. *Vietnam J. Food Control*, 2024, vol. 7, no. 4, pp. 613–626. DOI: 10.47866/2615-9252/vjfc.4421
14. Hidayah J.N., Razis A.F.A., Jambari N.N., Chai L.C., You L., Sanny M. Dietary exposure to acrylamide among the Malaysian adult population. *Food Chem. Toxicol.*, 2024, vol. 185, pp. 114502. DOI: 10.1016/j.fct.2024.114502
15. Kito K., Ishihara J., Yamamoto J., Hosoda T., Kotemori A., Takachi R., Nakamura K., Tanaka J. [et al.]. Variations in the estimated intake of acrylamide from food in the Japanese population. *Nutr. J.*, 2020, vol. 19, no. 1, pp. 17. DOI: 10.1186/s12937-020-00534-y
16. European Food Safety Authority. Management of left-censored data in dietary exposure assessment of chemical substances. *EFSA Journal*, 2010, vol. 8, no. 3, pp. 1557. DOI: 10.2903/j.efsa.2010.1557
17. Safety evaluation of certain contaminants in food. *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) Monographs*, 2011, 799 p.
18. WHO. Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food. *IPCS INCHEM*, 2009. Available at: https://incchem.org/documents/ehc/ehc/ehc240_index.htm (August 21, 2025).
19. Zhu F., Wang Y., Liu H., Lyu B., Chen D., Li J., Ji W., Zhao Y., Wu Y. Exposure to Acrylamide in the Sixth Total Diet Study – China, 2016–2019. *China CDC Wkly*, 2022, vol. 4, no. 9, pp. 161–164. DOI: 10.46234/ccdcw2022.040

20. Yu W.Z., Shen P., Lim I., Shi R.R.S., Cai M., Chin Y.S., Tay A.J., Ang W.M. [et al.]. Occurrence and Dietary Exposure to Acrylamide from Foods Consumed within and outside Main Meals in Singapore. *Foods*, 2023, vol. 12, no. 16, pp. 3022. DOI: 10.3390/foods12163022
21. Setyowati D., Andarwulan N., Giriwono P.E. Processed and ultraprocessed food consumption pattern in the Jakarta Individual Food Consumption Survey 2014. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 840–847. DOI: 10.6133/apjcn.062017.01
22. Gan P., Er J.C., Chow K., Er B., Chan J.S.H., Li A., Aung K.T. Consumption Patterns of Processed Foods in Singapore – A Cross-Sectional Study. *Foods*, 2022, vol. 11, no. 18, pp. 2782. DOI: 10.3390/foods11182782
23. Ali A., Khasbullah N.A., Ahmad F.T., Yusof H.M. Ultra-processed Food Consumption in Relation to BMI and Body Fat Percentage of Adults in Terengganu. *Mal. J. Med. Health Sci.*, 2020, vol. 16, no. 1, pp. 37–43.
24. Shim J.-S., Shim S.Y., Cha H.-J., Kim J., Kim H.C. Association between Ultra-processed Food Consumption and Dietary Intake and Diet Quality in Korean Adults. *J. Acad. Nutr. Diet.*, 2022, vol. 122, no. 3, pp. 583–594. DOI: 10.1016/j.jand.2021.07.012
25. Li M., Shi Z. Ultra-processed food consumption and obesity among children and adolescents in China-Findings from China Health and Nutrition Survey. *Pediatr. Obes.*, 2025, vol. 20, no. 7, pp. e70012. DOI: 10.1111/ijpo.70012
26. Lee S., Kim H.J. Dietary Exposure to Acrylamide and Associated Health Risks for the Korean Population. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17, no. 20, pp. 7619. DOI: 10.3390/ijerph17207619
27. Timmermann C.A.G., Mølck S.S., Kadawathagedara M., Bjerregaard A.A., Törnqvist M., Brantsæter A.L., Pedersen M. A Review of Dietary Intake of Acrylamide in Humans. *Toxics*, 2021, vol. 9, no. 7, pp. 155. DOI: 10.3390/toxics9070155

Tran Cao Son, Nguyen Thi Hong Ngoc, Kieu Van Anh, Tran Huy Hieu, Pham Thi Thanh Ha. The occurrence and dietary risk assessment of acrylamide in Vietnamese processed foods. Health Risk Analysis, 2026, no. 1, pp. 65–77. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.06.eng

Получена: 11.12.2025

Одобрена: 18.02.2026

Принята к публикации: 26.03.2026



Научная статья

РЕПРОДУКТИВНАЯ ГРАМОТНОСТЬ, СОЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ КАК ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕПРОДУКТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ

О.А. Зубкова, А.Ю. Фролов, В.И. Попов

Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко, Российская Федерация, 394036, г. Воронеж, ул. Студенческая, 10

В настоящее время молодые (студенческие) семьи являются демографическим ресурсом государства, вместе с этим они представляют собой и наиболее уязвимую группу населения в силу молодого возраста и неполной зрелости. Неблагоприятно воздействующие факторы сопряжены с риском снижения репродуктивного потенциала и, как следствие, ухудшением демографической ситуации в стране. Комплексная оценка факторов риска нарушения репродуктивного здоровья с учетом возраста и будущей профессии может стать инструментом для организации лечебно-профилактических мероприятий.

В связи с этим комплексно изучены факторы риска нарушения репродуктивного здоровья студентов медицинских и немедицинских университетов.

В исследовании приняли участие 200 студентов медицинских и немедицинских образовательных организаций. Была проведена оценка влияния некоторых групп факторов риска, приводящих к снижению репродуктивного потенциала. Изучено четыре группы факторов – социальные, характеризующие здоровый образ жизни (ЗОЖ), психологическое здоровье и репродуктивную грамотность.

Показано высокое значение семьи в становлении семейных ценностей и будущего репродуктивного поведения, выявлены нарушения состояния здоровья студентов, влияющие на репродуктивный потенциал. Прослежены различия в зависимости от выделенных групп по следующим параметрам: «близость отношений с родителями» ($p < 0,001^$); «отношение к аборту» ($p < 0,001^*$); известность понятия «индекс Перля» ($p < 0,001^*$). Отмечен различный уровень репродуктивной грамотности; у студентов медицинских университетов он значительно выше.*

В ходе исследования оценены факторы риска, влияющие на репродуктивный потенциал студенческой молодежи. По результатам исследуемых групп, она нуждается в коррекции образа жизни и воздействующих факторов риска с целью увеличения репродуктивного потенциала.

Ключевые слова: студенты, репродуктивная грамотность, здоровый образ жизни, психологическое здоровье, репродуктивный потенциал, студенты-медики, здоровьесбережение, факторы риска.

Сохранение и укрепление репродуктивного здоровья – приоритетное направление общественного развития, что связано с серьезными демографическими проблемами в мире и объясняется снижением коэффициента рождаемости и высоким коэффициентом смертности в настоящее время [1–7]. Некоторые ученые одним из ведущих факторов, влияющих на сложившуюся ситуацию в настоящее время, называют COVID-19, который в период пандемии унес многие жизни и повлиял на здоровье населения в целом [8–12]. В поисках решения проблемы отмечено, что демографическим ресурсом государства являются студенческие семьи [13–14]. По данным Го-

сударственной Думы Российской Федерации, в 2025 г. уже существует около 26 тыс. студенческих семей, из которых пятая часть – 5,6 тыс. уже имеют детей. Особую актуальность данной проблемы подтверждает подписание Президентом Российской Федерации закона о введении понятия «студенческая семья». Однако, по результатам российских и зарубежных исследований, прослеживается низкий уровень репродуктивной грамотности студенческого сообщества, отмечается низкий уровень физической активности, склонность к депрессии и тревоге, а также наличие зависимостей и вредных привычек. Все эти факторы могут способствовать

© Зубкова О.А., Фролов А.Ю., Попов В.И., 2026

Зубкова Ольга Андреевна – студент (e-mail: oaz.zubkova03@mail.ru; тел.: 8 (980) 262-88-29; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5238-7874>).

Фролов Александр Юрьевич – студент (e-mail: fr0low.4@yandex.ru; тел.: 8 (910) 348-16-49; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7617-7852>).

Попов Валерий Иванович – член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей гигиены (e-mail: 9038504004@mail.ru; тел.: 8 (473) 253-15-60; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5386-9082>).

нарушению репродуктивного здоровья и иметь в будущем неблагоприятное влияние на будущее поколение и, как следствие, отрицательно отразиться на демографической ситуации [15–22]. Выполнение комплексной оценки факторов риска нарушения репродуктивного здоровья с учетом возраста и будущей профессии может стать инструментом для будущих просветительских программ и для организации лечебно-профилактических мероприятий в рамках образовательных организаций.

Цель исследования – комплексно изучить факторы риска нарушения репродуктивного здоровья студентов медицинских и немедицинских университетов.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 200 студентов, обучающихся в Воронеже, Москве и Санкт-Петербурге. Респонденты изначально были распределены на две группы. Первая группа – студенты медицинских университетов, обучающиеся с I по VI курс (100 человек – 50 девушек и 50 юношей), вторая группа – студенты немедицинских высших учебных заведений, обучающиеся с I по V курс (100 испытуемых – 50 девушек и 50 юношей). Возрастной диапазон включенных в исследование респондентов составил от 18 до 25 лет. Использовалась анкета, разработанная авторами исследования, направленная на комплексную оценку некоторых факторов риска, влияющих на репродуктивный потенциал студентов. Выделены четыре основные группы факторов. Первая группа – социальные факторы (состав семьи, самооценка отношений с родителями, вопросы, характеризующие отношение к половому дебюту, семейным ценностям, браку, рождению детей и абортam). Вторая группа – факторы, характеризующие здоровый образ жизни (ЗОЖ) (физическая активность, качество сна, употребление табачных изделий и алкоголя). Третья группа – факторы, характеризующие психологическое здоровье (уровень депрессии и тревожности). В ходе тестирования дополнительно использовались опросники – PSQI (Питтсбургский опросник качества сна, HADS – госпитальная шкала тревоги и депрессии, опросники Спилберга – Ханина для определения уровня тревоги и депрессии). Четвертая группа – факторы, характеризующие репродуктивную грамотность (информированность о методах контрацепции и заболеваниях, передающихся половым путем (ЗППП)).

От всех респондентов было получено информированное добровольное согласие на участие в исследовании. Статистическая обработка данных проводилась в программе StatTech v. 4.6.1. Для оценки значимости статистических показателей использовались параметры: $p < 0,05^*$, 95%-ный доверительный интервал (95 % ДИ), рассчитывалось отношение шансов (ОШ) и отношение рисков (ОР), результаты корреляционного анализа были описаны с помощью уравнения парной линейной регрессии.

Результаты и их обсуждение. При выполнении анализа в группе социальных факторов была выявлена

взаимосвязь между показателями «близкие отношения с родителями» и «наличие желания в создании собственной семьи»: ОШ = 2,868, ОР = 1,184 [95 % ДИ: 1,501–5,480] ($p < 0,001^*$), также отмечена взаимосвязь между параметрами «полнота семьи» и «наличие желания создания собственной семьи»: ОШ = 2,611, ОР = 1,208 [95 % ДИ: 1,358–5,021] ($p = 0,003^*$).

У участников первой группы были зарегистрированы наивысшие показатели по результатам оценки параметра «близость отношений с родителями» – 72 %, при этом из второй лишь 45 % респондентов оценили свои отношения с родителями как «близкие», что значительно ниже полученных показателей в первой группе ($p < 0,001^*$).

При анализе вопросов, касающихся мотивации полового дебюта, была выявлена зависимость от пола ($p < 0,001^*$) (рис. 1). 29 % студентов медицинских университетов считают, что половую жизнь следует начинать «при первых отношениях, воспринимающихся как серьезные». 41 % респондентов полагают, что половой дебют должен состояться «при очень серьезных отношениях и желании заключения брака». Эти данные несколько расходятся с убеждениями студентов немедицинских университетов: 48 % респондентов указали мотивацией полового дебюта «первые отношения, воспринимающиеся как серьезные», и лишь 31 % – «при очень серьезных отношениях и желании заключения брака».



Рис. 1. Зависимость мотивации полового дебюта от пола студентов: 1 – вне зависимости от отношений; 2 – после свадьбы; 3 – при очень серьезных отношениях и желании заключения брака; 4 – с началом первых «более или менее» серьезных отношений; 5 – с началом первых отношений; 6 – с получением предложения к бракосочетанию

При оценке отношения к аборту было выявлено различное отношение, в зависимости от выделенных групп студентов ($p < 0,001^*$): более позитивное отношение к абортam продемонстрировали респонденты немедицинских университетов по сравнению со студентами-медиками (рис. 2); 26 % респондентов отметили, что «аборт – это выбор женщины, мужчине не стоит об этом задумываться», остальные же 74 % считают, что это совместное решение. Полученные результаты были схожи во всех группах и не имели статистических различий между группами. Была оценена связь показателей

«близкие отношения с родителями» и «ответственность за принятие решения об аборте»: ОШ = 2,719, ОР = 1,297 [95 % ДИ: 1,592–4,643] ($p < 0,001^*$).

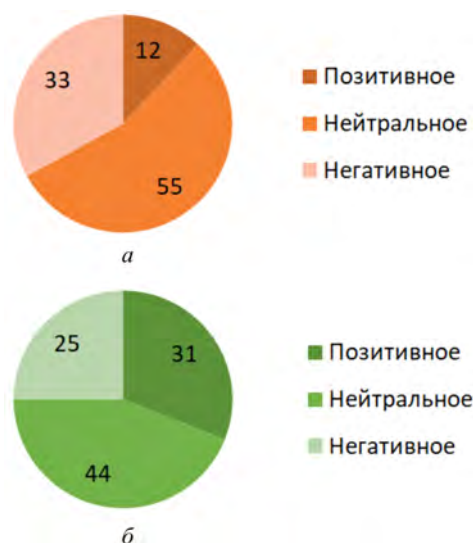


Рис. 2. Зависимость отношения студентов к искусственному прерыванию беременности в группах исследования: а – группа 1 – студенты немедицинских вузов; б – группа 2 – студенты медицинских университетов

Период 21–25 лет большая часть студентов выделила как наиболее благоприятный для создания семьи и рождения детей. Были прослежены значимые различия между желаемым и планируемым количеством детей. При ответе на вопросы о планировании семьи 53,2 % опрошенных отметили, что хотели бы иметь троих детей, но при оценке своих возможностей планируют рождение одного ребенка.

Выполнен корреляционный анализ между количеством братьев и сестер и желаемым количеством детей ($p = 0,011^*$):

$$Y_{\text{Желаемое количество детей}} = 0,181 \cdot X_{\text{общее число братьев и сестер}} + 2,715.$$

При увеличении общего числа братьев и сестер на одного человека следует ожидать возрастание желаемого количества детей на 0,181. Полученная модель объясняет 3,7 % наблюдаемой дисперсии показателя «желаемое количество детей».

При оценке факторов, характеризующих ЗОЖ, отмечено, что наибольшая часть респондентов первой группы (71 %) имела двигательную активность менее 30 мин в день, при этом дополнительные занятия спортом отсутствовали у 69 % студентов первой группы; 62 % участников второй группы также проходят менее 30 мин в день, при этом дополнительно не занимаются спортом 59 % респондентов. Эти результаты могут быть связаны с недостатком свободного времени вследствие особенностей образовательных программ.

При анализе ответов участников исследования о приеме алкоголя большая часть студентов отмети-

ла, что употребляет алкоголь «несколько раз в месяц» и «реже одного раза в месяц».

Был проанализирован статус курения студентов в зависимости от групп исследования (рис. 3). Выявлена взаимосвязь между показателями «статус курения» и «пешая активность более или менее 30 мин в день»: ОШ = 1,996, ОР = 1,66 [95 % ДИ: 1,170–3,405].

Эти данные находят подтверждение и в работах других авторов, что демонстрирует необходимость внедрения дополнительных мер профилактики вредных привычек [23–31].



Рис. 3. Зависимость статуса курения студентов в группах исследования: а – группа 1 – студенты немедицинских вузов; б – группа 2 – студенты медицинских университетов

По результатам Питтсбургского опросника качества сна выраженные проблемы с качеством сна имеют 31,2 и 23,8 % респондентов первой и второй групп исследования соответственно, а серьезное нарушение качества сна – 11,2 и 13 % студентов соответственно. Большая часть респондентов продемонстрировала субклинический уровень тревоги и депрессии по результатам госпитальной шкалы тревоги и депрессии HADS.

Далее выполнен корреляционный анализ между показателями: продолжительность сна – ситуативная тревожность ($p < 0,001^*$):

$$Y_{\text{Ситуативная тревожность}} = -2,682 \cdot X_{\text{Продолжительность сна}} + 46,269.$$

При увеличении продолжительности сна на 1 ч следует ожидать уменьшение ситуативной тревожности на 2,682. Полученная модель объясняет 6,6 % наблюдаемой дисперсии показателя «ситуативная тревожность».

Продолжительность сна – личностная тревожность ($p < 0,001^*$):

$$Y_{\text{Личностная тревожность}} = -1,678 \cdot X_{\text{Продолжительность сна}} + 58,491.$$

При увеличении продолжительности сна на 1 ч следует ожидать уменьшение личностной тревожности на 1,678. Полученная модель объясняет 5,4 % наблюдаемой дисперсии показателя «личностная тревожность».

Продолжительность сна – уровень депрессии ($p < 0,001^*$):

$$Y_{\text{уровень депрессии}} = -0,848 \cdot X_{\text{Продолжительность сна}} + 11,01.$$

При увеличении продолжительности сна на 1 ч следует ожидать уменьшение уровня депрессии на 0,848. Полученная модель объясняет 8,7 % наблюдаемой дисперсии показателя «уровень депрессии».

Наибольший уровень репродуктивной грамотности продемонстрировали студенты медицинских университетов. Наиболее известными методами контрацепции для студентов стали естественный метод (прерванный половой акт) и барьерный метод (презервативы), другие методы контрацепции были известны в большей степени студентам-медикам. Важно отметить низкий уровень просвещенности студентов не медицинских учебных заведений по вопросам репродуктивного здоровья, в частности о некоторых ИППП (таблица), это подчеркивает актуальность просветительской работы и гигиенического воспитания.

Понятие «индекс Перля» известно лишь 57,1 и 14,3 % студентам первой и второй групп соответственно ($p < 0,001^*$). Была выявлена взаимосвязь между показателями «пол» и «известность понятия индекса Перля»: ОШ = 2,845, ОР = 2,299 [95 % ДИ: 1,337–6,053] ($p = 0,005^*$).

Зависимость информированности о некоторых инфекциях, передающихся половым путем, в группах исследования

Информированность о заболевании	Группа 1, %	Группа 2, %
Трихомониаз	95	6
Гонорея	60	13
Хламидиоз	88	7
Половой герпес	81	2
ВИЧ-инфекция	98	75
Сифилис	93	57
ВПЧ	83	5
Гепатит	69	23

Комплексное исследование уровня семейных ценностей, репродуктивной грамотности и уровня здоровья студентов медицинских и немедицинских университетов дало представление об отличительных особенностях исследуемых групп респондентов, продемонстрировало необходимость коррекции некоторых показателей с учетом выбранных групп и комплексного подхода. По результатам исследования были выявлены репродуктивно-социальные особенности исследуемых групп. Прослежено несоблюдение студентами принципов ЗОЖ, а также выявлены некоторые психологические проблемы, которые требуют коррекции. По нашему мнению, студенты медицинского универ-

ситета должны рассматриваться как отдельная группа обучающихся при формировании здоровьесберегающих программ, что обусловлено изучением аспектов репродуктивного здоровья в рамках клинических дисциплин. В целом необходимо отметить, что для всех групп студентов социально-просветительская работа является необходимой, направленной на изменение подхода к искусственному прерыванию беременности. Не менее важным направлением работы является коррекция образа жизни – повышение уровня физической активности, нормализация сна и отказ от губительных зависимостей и привычек. В ходе работы выявлена низкая репродуктивная грамотность студенческого сообщества, что также необходимо учитывать при реализации профилактических программ.

Отмечена связь между отношениями в семье и будущим репродуктивным потенциалом детей, эти данные согласуются и с результатами других исследований, что дает возможность говорить о важности оценки этих показателей у студентов при прогнозировании репродуктивного потенциала [32–34].

Исследуемые параметры ЗОЖ и психологического здоровья оказывают воздействие на репродуктивное здоровье населения, следовательно, существенно влияют на репродуктивный потенциал [35, 36].

Выводы:

1. Изучены социальные факторы, показано высокое значение семьи в становлении семейных ценностей и будущего репродуктивного потенциала студенческой молодежи. Прослежены зависимости между показателями: «близкие отношения с родителями» и «наличие желания в создании собственной семьи» ($p < 0,001^*$); «полнота семьи» и «наличие желания создания собственной семьи» ($p = 0,003^*$); «близкие отношения с родителями» и «ответственность за принятие решения об аборте» ($p < 0,001^*$); «количество братьев и сестер» и «желаемое количество детей» ($p = 0,011^*$).

2. В группе факторов ЗОЖ и психологического здоровья выявлены нарушения состояния здоровья студентов, влияющих на репродуктивный потенциал, отмечена взаимосвязь между параметрами «пол» и «известность понятия индекса Перля» ($p = 0,005^*$); «продолжительность сна» и «ситуативная тревожность» ($p < 0,001^*$); «продолжительность сна» и «личностная тревожность» ($p < 0,001^*$); «продолжительность сна» и «уровень депрессии» ($p < 0,001^*$).

3. Прослежены различия, в зависимости от выделенных групп, по следующим параметрам: «близость отношений с родителями» ($p < 0,001^*$); «отношение к аборту» ($p < 0,001^*$); «известность понятия индекса Перля» ($p < 0,001^*$). Отмечен различный уровень репродуктивной грамотности: студенты медицинских университетов оказались более репродуктивно грамотными.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Конфликт интересов. Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Сафонова С.Г., Шейхова М.С. Демографическая ситуация в современной России: особенности, тенденции, прогнозы // Московский экономический журнал. – 2024. – Т. 9, № 9. – С. 386–401. DOI: 10.55186/2413046X_2024_9_9_392
2. Варганова М.Л. Социально-демографические аспекты бесплодия в супружестве: медицинские и психологические проблемы // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2023. – № 31 (5). – С. 970–976. DOI: 10.32687/0869-866X-2023-31-5-970-976
3. Карпов Д.М. Актуальные демографические проблемы в России и пути их решения // Проблемы социальных и гуманитарных наук. – 2020. – № 2 (23). – С. 194–199.
4. Симагин Ю.А. Результаты исследований демографических проблем России в XXI веке // Народонаселение. – 2021. – Т. 24, № 4. – С. 4–22. DOI: 10.19181/population.2021.24.4.1
5. Комиссарова Ж.Н., Сергеев Е.А. Современные демографические проблемы Европейского союза // Мировое и национальное хозяйство. – 2020. – № 1 (50).
6. Аббасов Р.С., Лябах А.Ю., Саберава Е.В. Социологическое исследование проблемы рождаемости в современной России // ГосРег: государственное регулирование общественных отношений. – 2020. – № 3 (33). – С. 198–211.
7. Информированность студентов по вопросам охраны репродуктивного здоровья / А.А. Захарова, Е.В. Асташкевич, М.В. Попов, Е.В. Скоблина // Российский вестник гигиены. – 2022. – № 1. – С. 24–27. DOI: 10.24075/rbh.2022.038
8. Попов М.В. Анализ состояния здоровья студентов медицинских университетов (обзор литературы) // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2025. – № 1. – С. 541–566. DOI: 10.24412/2312-2935-2025-1-541-566
9. GBD 2021 Demographics Collaborators. Global age-sex-specific mortality, life expectancy, and population estimates in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1950–2021, and the impact of the COVID-19 pandemic: a comprehensive demographic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021 // Lancet. – 2024. – Vol. 403, № 10440. – P. 1989–2056. DOI: 10.1016/S0140-6736(24)00476-8
10. The impact of COVID-19 on the birth rate in Nigeria: a report from population-based registries / C.B. Oguejiofor, K.M. Ebubechukwu, G.U. Eleje, E.O. Ugwu, J.T. Enebe, K.E. Ekwuazi, C.C. Okoro, B.C. Okpala [et al.] // Infect. Dis. Res. – 2023. – Vol. 4, № 1. – P. 4. DOI: 10.53388/idr2023004
11. Potential Effects of the COVID-19 Pandemic on Future Birth Rate / M.A. Ullah, A.T. Moin, Y. Araf, A.R. Bhuiyan, M.D. Griffiths, D. Gozal // Front. Public Health. – 2020. – Vol. 8. – P. 578438. DOI: 10.3389/fpubh.2020.578438
12. Семёко Г.В. Демографическое развитие в условиях пандемии COVID-19: вызовы для экономики // Экономические и социальные проблемы России. – 2021. – № 3 (47). – С. 123–140. DOI: 10.31249/espr/2021.03.07
13. Ростовская Т.К., Кучмаева О.В., Золотарева О.А. Студенческая семья в России: детерминанты вступления в брак // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Социология. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 40–60. DOI: 10.22363/2313-2272-2023-23-1-40-60
14. Попов М.В., Зубкова О.А. Изучение готовности к браку, уровня депрессии и тревожности студентов медицинского университета // Демография и глобальные вызовы: сборник III Международного демографического форума. Доклады Молодежной секции. – Воронеж, 23–25 мая 2024 г. – Воронеж: ООО "Цифровая полиграфия", 2024. – С. 313–317.
15. Иевлева О.В., Попов М.В. Оценка влияния использования социальных сетей на вегетативный статус студентов-медиков // Психическое здоровье. – 2022. – Т. 17, № 10. – С. 38–42. DOI: 10.25557/2074-014X.2022.10.38-42
16. Попов М.В., Нехаенко Н.Е., Зубкова О.А. Некоторые аспекты оценки приверженности студентов медицинского университета к здоровому образу жизни // Организационные и клинические вопросы оказания медицинской помощи: региональный аспект: сборник научных трудов Ежегодной Международной конференции; научно-практического форума; I Международной научно-практической конференции. – Саратов, 4–7 апреля 2024 г. – Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского», 2024. – С. 155–158.
17. Попов М.В., Зубкова О.А. Изучение уровня депрессии и качества сна студентов Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко // Проблемы общественного здоровья, организации здравоохранения и фармации: сборник трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Курск, 15–17 мая 2024 г. – Курск: Курский государственный медицинский университет, 2024. – С. 94–96.
18. Попов М.В., Либина И.И., Крюкова О.Н. Комплексная оценка питания студентов с учетом региональных особенностей и позиций его оптимизации // Основы здорового питания и пути профилактики алиментарно-зависимых заболеваний: сборник материалов II школы молодых ученых. – Москва, 23–25 октября 2019 г. – М.: ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», 2019. – С. 90–93.
19. Шихова Е.П., Тверитин Е.А. Репродуктивное здоровье и репродуктивная культура студентов: тактика профилактических мероприятий // Наука молодых (Eruditio Juvenium). – 2021. – Т. 9, № 4. – С. 573–582. DOI: 10.23888/НМЖ202194573-582
20. Хмелева А.Д., Чернышов Э.Д. Репродуктивная грамотность современной молодежи города Челябинска // Научное сообщество студентов XXI столетия. Общественные науки: сборник статей по материалам ХСVII Студенческой международной научно-практической конференции. – Новосибирск, 25 января 2021 г. – Т. 1 (96). – Новосибирск: ООО "Сибирская академическая книга", 2021. – С. 65–72.
21. Sons A., Eckhardt A.L. Health literacy and knowledge of female reproduction in undergraduate students // J. Am. Coll. Health. – 2023. – Vol. 71, № 3. – P. 836–843. DOI: 10.1080/07448481.2021.1909034
22. Reproductive Health Literacy and Fertility Awareness Among Polish Female Students / E. Chawłowska, A. Lipiak, J. Krzyszczoszek, B. Krupa, R. Staszewski // Front. Public Health. – 2020. – Vol. 8. – P. 499. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00499
23. Зубкова О.А., Комиссарова О.В., Хатуяев Р.О. Оценка взаимосвязи продолжительности сна и уровня тревожности у студентов медицинского университета // Агаджанянские чтения = Aghajanian readings: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Москва, 25–27 мая 2023 г. – М.: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2023. – С. 156–159.
24. Попов М.В., Зубкова О.А., Нехаенко Н.Е. Необходимость профилактики нарушений режима сна у студентов медицинского вуза как важный аспект охраны здоровья // Молодежный инновационный вестник. – 2024. – Т. 13, № S1. – С. 528–531.

25. Prijic Ž., Igić R. Cigarette smoking and medical students // J. BUON. – 2021. – Vol. 26, № 5. – P. 1709–1718.
26. Cigarette Smoking among Medical Students from the Western Balkan / M. Plić, M. Grujić, B. Novaković, A. Vrkić, Z. Lozanov-Crvenković // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2022. – Vol. 19, № 5. – P. 3055. DOI: 10.3390/ijerph19053055
27. Гаврилов Е.С. Курение в студенческой среде: распространенность, причины, мотивы отказа, возможности профилактики (на примере студентов ДВГМУ) // Молодой ученый. – 2020. – № 26.1 (316.1). – С. 57–59.
28. Широкова Е.А., Щеголева М.А. Гиподинамия как фактор, ухудшающий качество жизни студентов университета // Известия Тульского государственного университета. Физическая культура. Спорт. – 2021. – № 4. – С. 74–80. DOI: 10.24412/2305-8404-2021-4-74-80
29. Физическая активность студентов в условиях цифровизации образования / Н.А. Зиновьев, Н.Д. Алексеева, М.Ю. Надыршина, А.С. Смирнов // Цифровизация инженерного образования: сборник материалов международной онлайн-конференции. – Ижевск, 30 марта–1 апреля, 2021 г. – Ижевск: Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, 2021. – С. 262–264.
30. Криворотов С.К. Влияние дистанционного обучения на физическую активность студентов в период пандемии 2020 года // Казанский педагогический журнал. – 2020. – № 4 (141). – С. 173–178.
31. Попов М.В., Нехаенко Н.Е. О необходимости здоровьесберегающих образовательных технологий в вузе // Волгоградский научно-медицинский журнал. – 2025. – Т. 22, № 2. – С. 72–77. DOI: 10.19163/2658-4514-2025-22-2-72-77
32. Короленко А.В., Калачикова О.Н. Репродуктивные установки молодых семей: факторы и условия реализации (по материалам углубленных интервью) // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 172–189. DOI: 10.15838/esc.2022.2.80.11
33. Иванова Д.К. Влияние родительских установок на формирование образа семьи у взрослых // Шаг в науку. – 2025. – № 2. – С. 83–85.
34. Лысакова А.Н. Родительская семья и представления студентов об академической успешности // Высшее образование в России. – 2025. – Т. 34, № 3. – С. 100–112. DOI: 10.31992/0869-3617-2025-34-3-100-112
35. Каримова К., Алимова И.А. Влияние факторов современного образа жизни на репродуктивное здоровье мужчин и женщин // International Conference on Science & Technology. – 2025. – Т. 1, № 1. – С. 64–67.
36. Yuan D., Zhang Y., Wang Y. Depression, ovarian cysts and infertility in women: A mediated Mendelian randomization analysis // Medicine (Baltimore). – 2025. – Vol. 104, № 48. – P. e46031. DOI: 10.1097/MD.00000000000046031

Зубкова О.А., Фролов А.Ю., Попов В.И. Репродуктивная грамотность, социальные особенности и состояние здоровья как факторы формирования репродуктивного потенциала студенческой молодежи // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 78–85. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.07

UDC 614: 371.7

DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.07.eng

Read
online



Research article

REPRODUCTIVE LITERACY, SOCIAL CHARACTERISTICS, AND HEALTH STATUS AS RISK FACTORS FOR THE FUTURE REPRODUCTIVE POTENTIAL OF STUDENT YOUTH

O.A. Zubkova, A.Y. Frolov, V.I. Popov

Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, 10 Studencheskaya Str., Voronezh, 394036, Russian Federation

Currently, student families are a demographic resource for the state, and at the same time, they are the most vulnerable population group due to their young age and incomplete maturity. Unfavorable influencing factors are associated with the risk of declining reproductive potential and, as a consequence, the deterioration of the demographic situation in the country. A comprehensive assessment of risk factors for reproductive health disorders, taking into account age and future occupation, can become a tool for organizing medical and preventive measures.

© Zubkova O.A., Frolov A.Y., Popov V.I., 2026

Olga A. Zubkova – student (e-mail: oaz.zubkova03@mail.ru; tel.: +7 (980) 262-88-29; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5238-7874>).

Alex Yu. Frolov – student (e-mail: fr0low.4@yandex.ru; tel.: +7 (910) 348-16-49; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7617-7852>).

Valery I. Popov – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of General Hygiene (e-mail: 9038504004@mail.ru; tel.: +7 (473) 253-15-60; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5386-9082>).

In this regard, the aim of the study was to comprehensively investigate the risk factors for reproductive health disorders among students of medical and non-medical universities.

The study involved 200 students from medical and non-medical educational institutions and focused on assessing impacts of certain groups of risk factors leading to a decline in reproductive potential. Four groups of factors were studied: social, characterizing healthy lifestyle, psychological health, and reproductive literacy.

Family was shown to have a significant role in formation of future reproductive behavior; the study revealed health disorders affecting reproductive potential among students. Differences were observed depending on the identified groups according to the following parameters: "closeness of relationship with parents" ($p < 0.001$); "attitude towards abortion" ($p < 0.001$); awareness of the "Pearl Index" concept ($p < 0.001^*$). A different level of reproductive literacy was established, with medical university students being more reproductively literate.

The study involved assessment of risk factors affecting the reproductive potential of student youth. According to our findings, each of the studied groups requires correction of lifestyle and influencing risk factors to increase reproductive potential.

Keywords: students, reproductive literacy, healthy lifestyle, mental health, reproductive potential, medical students, health preservation, risk factors.

References

1. Safonova S.G., Sheyhova M.S. Demographic situation in modern Russia: features, trends, forecasts. *Moscow Economic Journal*, 2024, vol. 9, no. 9, pp. 386–401. DOI: 10.55186/2413046X_2024_9_9_392 (in Russian).
2. Vartanova M.L. The social demographic aspects of infertility in matrimony: medical and psychological problems. *Probl. Sotsialnoi Gig. Zdravookhraneniia i Istor. Med.*, 2023, no. 31 (5), pp. 970–976. DOI: 10.32687/0869-866X-2023-31-5-970-976 (in Russian).
3. Karpov D.M. Current Demographic Problems in Russia and Ways of their Solution. *Problemy sotsial'nykh i gumanitarnykh nauk*, 2020, no. 2 (23), pp. 194–199 (in Russian).
4. Simagin Y.A. Results of the study of demographic problems in Russia in the 21st century. *Narodonaselenie*, 2021, vol. 24, no. 4, pp. 4–22. DOI: 10.19181/population.2021.24.4.1 (in Russian).
5. Komissarova Zh.N., Sergeev E.A. Current demographic challenges of the European Union. *Mirovye i natsional'noe khozyaistvo*, 2020, no. 1 (50) (in Russian).
6. Abbasov R.S., Lyabakh A.Yu., Sabirova E.V. Sotsiologicheskoe issledovanie problemy rozhdamosti v sovremennoi Rossii [Social Survey of the Birth Rate Problem in Modern Russia]. *GosReg: gosudarstvennoe regulirovanie obshchestvennykh otmoshenii*, 2020, no. 3 (33), pp. 198–211 (in Russian).
7. Zakharova A.A., Astashkevich E.V., Popov M.V., Skoblina E.V. Awareness of reproductive health protection issues among female students. *Russian Bulletin of Hygiene*, 2022, no. 1, pp. 22–24. DOI: 10.24075/rbh.2022.038
8. Popov M.V. Analysis of the health status of medical university students (literature review). *Sovremennye problemy zdravookhraneniya i meditsinskoi statistiki*, 2025, no. 1, pp. 541–566. DOI: 10.24412/2312-2935-2025-1 (in Russian).
9. GBD 2021 Demographics Collaborators. Global age-sex-specific mortality, life expectancy, and population estimates in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1950–2021, and the impact of the COVID-19 pandemic: a comprehensive demographic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet*, 2024, vol. 403, no. 10440, pp. 1989–2056. DOI: 10.1016/S0140-6736(24)00476-8
10. Oguejiofor C.B., Ebubechukwu K.M., Eleje G.U., Ugwu E.O., Enebe J.T., Ekwuazi K.E., Okoro C.C., Okpala B.C. [et al.]. The impact of COVID-19 on the birth rate in Nigeria: a report from population-based registries. *Infect. Dis. Res.*, 2023, vol. 4, no. 1, pp. 4. DOI: 10.53388/idr2023004
11. Ullah M.A., Moin A.T., Araf Y., Bhuiyan A.R., Griffiths M.D., Gozal D. Potential Effects of the COVID-19 Pandemic on Future Birth Rate. *Front. Public Health*, 2020, vol. 8, pp. 578438. DOI: 10.3389/fpubh.2020.578438
12. Semeko G.V. Demographic Development in the Context of the Pandemic COVID-19: Challenges for the Economy. *Ekonomicheskie i sotsial'nye problemy Rossii*, 2021, no. 3 (47), pp. 123–140. DOI: 10.31249/espr/2021.03.07 (in Russian).
13. Rostovskaya T.K., Kuchmaeva O.V., Zolotareva O.A. Russian student family: determinants of marriage. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Sotsiologiya*, 2023, vol. 23, no. 1, pp. 40–60. DOI: 10.22363/2313-2272-2023-23-1-40-60 (in Russian).
14. Popov M.V., Zubkova O.A. Study of Readiness for Marriage, Level of Depression and Anxiety of Medical University Students. *Demografiya i global'nye vyzovy: sbornik III-go Mezhdunarodnogo demograficheskogo foruma. Doklady Molodezhnoi sekti*, Voronezh, May 23–25, 2024. Voronezh, OOO "Tsirovaya poligrafia" Publ., 2024, pp. 313–317 (in Russian).
15. Ievleva O.V., Popov M.V. Assessment of the impact of the use of social networks on the vegetative status of medical students. *Psikhicheskoe zdorov'e*, 2022, vol. 17, no. 10, pp. 38–42. DOI: 10.25557/2074-014X.2022.10.38-42 (in Russian).
16. Popov M.V., Nekhaenko N.E., Zubkova O.A. Nekotorye aspekty otsenki priverzhennosti studentov meditsinskogo universiteta k zdorovomu obrazu zhizni [Some Aspects of Assessing the Adherence to a Healthy Lifestyle among Medical University Students]. *Organizatsionnye i klinicheskie voprosy okazaniya meditsinskoi pomoshchi: regional'nyi aspekt: Sbornik nauchnykh trudov Ezhegodnoi Mezhdunarodnoi konferentsii; nauchno-prakticheskogo foruma; I Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Saratov, April 04–07, 2024. Saratov, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovskiy Publ., 2024, pp. 155–158 (in Russian).
17. Popov M.V., Zubkova O.A. Izuchenie urovnya depressii i kachestva sna studentov Voronezhskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta im. N.N. Burdenko [Studying the Level of Depression and Sleep Quality of Students of Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko]. *Problemy obshchestvennogo zdorov'ya, organizatsii zdravookhraneniya i farmatsii: Sbornik trudov po materialam Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*, Kursk, May 15–17, 2024. Kursk, Kursk State Medical University Publ., 2024, pp. 94–96 (in Russian).

18. Popov M.V., Libina I.I., Kryukova O.N. Kompleksnaya otsenka pitaniya studentov s uchetom regional'nykh osobennoei i pozitsii ego optimizatsii [Comprehensive assessment of student nutrition considering regional features and optimization strategies]. *Osnovy zdorovogo pitaniya i puti profilaktiki alimentarno-zavisimykh zabolevanii: sbornik materialov II shkoly molodykh uchenykh*, Moscow, October 23–25, 2019. Moscow, Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety Publ., 2019, pp. 90–93 (in Russian).
19. Shikhova E.P., Tveritin E.A. Reproductive health and reproductive culture of university students: tactics of preventive activities. *Nauka molodykh (Eruditio Juvenium)*, 2021, vol. 9, no. 4, pp. 573–582. DOI: 10.23888/HMJ202194573-582 (in Russian).
20. Khmeleva A.D., Chernyshov E.D. Reproductive literacy of modern youth of the city of Chelyabinsk. *Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Obshchestvennye nauki: sbornik statei po materialam XCVII studencheskoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Novosibirsk, January 25, 2021, vol. 1 (96). Novosibirsk, OOO "Sibirskaya akademicheskaya kniga" Publ., 2021, pp. 65–72 (in Russian).
21. Sons A., Eckhardt A.L. Health literacy and knowledge of female reproduction in undergraduate students. *J. Am. Coll. Health*, 2023, vol. 71, no. 3, pp. 836–843. DOI: 10.1080/07448481.2021.1909034
22. Chawłowska E., Lipiak A., Krzyszczek J., Krupa B., Staszewski R. Reproductive Health Literacy and Fertility Awareness Among Polish Female Students. *Front. Public Health*, 2020, vol. 8, pp. 499. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00499
23. Zubkova O.A., Komissarova O.V., Khatuaev R.O. The relationship of the influence of the duration of sleep of anxiety level of Medical University students. *Aghajanian readings: materialy IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*, Moscow, May 25–27, 2023. Moscow, RUDN Publ., 2023, pp. 156–159 (in Russian).
24. Popov M.V., Zubkova O.A., Nekhaenko N.E. The need to prevent sleep disorders in medical students as an important aspect of health protection. *Molodezhnyi innovatsionnyi vestnik*, 2024, vol. 13, no. S1, pp. 528–531 (in Russian).
25. Prijić Ž., Igić R. Cigarette smoking and medical students. *J. BUON*, 2021, vol. 26, no. 5, pp. 1709–1718.
26. Ilić M., Grujić M., Novaković B., Vrkatić A., Lozanov-Crvenković Z. Cigarette Smoking among Medical Students from the Western Balkan. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, vol. 19, no. 5, pp. 3055. DOI: 10.3390/ijerph19053055
27. Gavrilov E.S. Kurenie v studencheskoi srede: rasprostranennost', prichiny, motivy otkaza, vozmozhnosti profilaktiki (na primere studentov DVG MU) [Smoking in the student environment: prevalence, causes, reasons for quitting, prevention opportunities (on the example of students of DVG MU)]. *Molodoi uchenyi*, 2020, no. S26-1 (316-1), pp. 57–59 (in Russian).
28. Shirokova E.A., Shchegoleva M.A. Hypodynamia as a factor decreasing the quality of life of university students. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Fizicheskaya Kultura. Sport*, 2021, no. 4, pp. 74–80. DOI: 10.24412/2305-8404-2021-4-74-80 (in Russian).
29. Zinoviev N.A., Alekseeva N.D., Nadyrshina M.Yu., Smirnov A.S. Fizicheskaya aktivnost' studentov v usloviyakh tsifrovizatsii obrazovaniya [Physical activity of students in the context of digitalization of education]. *Tsifrovizatsiya inzhenernogo obrazovaniya: sbornik materialov mezhdunarodnoi onlain-konferentsii*, Izhevsk, March 30–April 01, 2021. Izhevsk, Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov Publ., 2021, pp. 262–264 (in Russian).
30. Krivorotov S. Impact of distance learning on student physical activity during the 2020 pandemic. *Kazanskii pedagogicheskii zhurnal*, 2020, no. 4 (141), pp. 173–178 (in Russian).
31. Popov M.V., Nekhaenko N.E. On the need for health-saving educational technologies in university. *Volgogradskii nauchno-meditsinskii zhurnal*, 2025, vol. 22, no. 2, pp. 72–77. DOI: 10.19163/2658-4514-2025-22-2-72-77 (in Russian).
32. Korolenko A.V., Kalachikova O.N. Reproductive attitudes of young families: Driving forces and implementation conditions (on the basis of in-depth interviews). *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2022, vol. 15, no. 2, pp. 172–189. DOI: 10.15838/esc.2022.2.80.11
33. Ivanova D.K. The influence of parental attitudes on the formation of a family image in adults. *Shag v nauku*, 2025, no. 2, pp. 83–85 (in Russian).
34. Lysakova A.N. Parental Family and University Students' Ideas about Academic Success. *Vysshee obrazovanie v Rossii*, 2025, vol. 34, no. 3, pp. 100–112. DOI: 10.31992/0869-3617-2025-34-3-100-112 (in Russian).
35. Karimova K., Alimova I.A. The influence of modern lifestyle factors on the reproductive health of men and women. *International Conference on Science & Technology*, 2025, vol. 1, no. 1, pp. 64–67.
36. Yuan D., Zhang Y., Wang Y. Depression, ovarian cysts and infertility in women: A mediated Mendelian randomization analysis. *Medicine (Baltimore)*, 2025, vol. 104, no. 48, pp. e46031. DOI: 10.1097/MD.00000000000046031

Zubkova O.A., Frolov A.Y., Popov V.I. Reproductive literacy, social characteristics, and health status as risk factors for the future reproductive potential of student youth. *Health Risk Analysis*, 2026, no. 1, pp. 78–85. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.07.eng

Получена: 02.12.2025

Одобрена: 04.02.2026

Принята к публикации: 26.03.2026

Научная статья

ФАКТОРЫ РИСКА ИНТЕРНЕТ-ЗАВИСИМОСТИ И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ У ПОДРОСТКОВ 15–17 ЛЕТ

**О.М. Филькина, А.И. Малышкина, О.Ю. Кочерова, А.В. Бобошко, Е.А. Воробьева,
Н.В. Долотова**

Ивановский научно-исследовательский институт материнства и детства имени В.Н. Городкова, Российская Федерация, 153045, г. Иваново, ул. Победы, 20

В эпоху цифровизации общества всё больше подростков сталкиваются с проблемой чрезмерного использования Интернета, поэтому важной задачей является прогнозирование интернет-зависимости и сопряженных психосоматических нарушений. В связи с этим выявлены факторы риска интернет-зависимости и ее последствий для психосоматического здоровья у подростков 15–17 лет.

Проведено сплошное исследование 507 подростков 15–17 лет, учащихся муниципальных бюджетных общеобразовательных учреждений г. Иваново. Для оценки интернет-зависимости подростков использовалась методика С. Чена, личностные особенности подростков определялись по тесту Айзенка, методы воспитания родителей – с помощью опросника Е. Шафер «Поведение родителей и отношение подростков к ним». С помощью авторской анкеты у подростков выявляли синдромы невротических расстройств. Проведена выкопировка соматической патологии из историй развития ребенка (форма № 112/у) и медицинской карты школьника (форма № 026/у). Оценку индивидуального физического развития проводили методом сигмальных отклонений с использованием местных возрастных нормативов. Статистическая обработка данных проводилась общепринятыми методами вариационной статистики.

В результате установлено, что факторами риска формирования интернет-зависимости у подростка являются высокий уровень нейротизма (ОШ = 11,1, 95 % ДИ: 4,2–29,1), экстравертированный тип личности (ОШ = 2,5, 95 % ДИ: 1,0–6,4), воспитание со слабым позитивным интересом и автономностью родителей (ОШ = 6,2, 95 % ДИ: 1,5–26,3). Интернет-зависимость формирует риски невротических расстройств: гипердинамического и астенического синдромов (ОШ = 5,3, 95 % ДИ: 2,2–12,7), фобического синдрома (ОШ = 2,9, 95 % ДИ: 1,3–6,5), синдрома навязчивых движений (ОШ = 3,4, 95 % ДИ: 1,5–7,9), болезней глаза (ОШ = 3,6, 95 % ДИ: 1,5–8,9), органов пищеварения (ОШ = 7,3, 95 % ДИ: 1,9–27,3), костно-мышечной системы и соединительной ткани (ОШ = 3,2, 95 % ДИ: 1,4–7,3), дефицита массы тела (ОШ = 3,1, 95 % ДИ: 1,1–8,9).

Выявленные факторы обосновывают важность комплексной междисциплинарной реабилитации подростков, находящихся в состоянии интернет-зависимости и психосоматических нарушений здоровья, а также системы профилактики рисков возникновения данных состояний.

Ключевые слова: подростки 15–17 лет, интернет-зависимость, факторы риска интернет-зависимости, факторы риска психосоматических нарушений здоровья, прогнозирование, междисциплинарный подход.

Ведущим направлением в области охраны здоровья детей является профилактика, которая эффективна только при раннем выявлении детей группы риска на формирование патологии или нарушений развития. Выявление детей группы риска играет

важную роль, так как позволяет определить точки приложения в профилактической работе [1–5].

Сочетание различных факторов у каждого ребенка индивидуально и меняется в течение жизни. Поэтому необходима регулярная переоценка влия-

© Филькина О.М., Малышкина А.И., Кочерова О.Ю., Бобошко А.В., Воробьева Е.А., Долотова Н.В., 2026

Филькина Ольга Михайловна – заслуженный врач РФ, заслуженный деятель науки РФ, доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделом охраны здоровья детей (e-mail: omfilkina@mail.ru; тел.: 8 (903) 888-91-94; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2228-748X>).

Малышкина Анна Ивановна – доктор медицинских наук, профессор, директор (e-mail: ivniimid@inbox.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1145-0563>).

Кочерова Ольга Юрьевна – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела охраны здоровья детей (e-mail: ivniidet@mail.ru; тел.: 8 (961) 246-24-41; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2473-8339>).

Бобошко Алексей Владимирович – аспирант отдела охраны здоровья детей (e-mail: lesha.boboshko.96@mail.ru; тел.: 8 (910) 685-26-36).

Воробьева Елена Анатольевна – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела охраны здоровья детей (e-mail: ivniidet@mail.ru; тел.: 8 (909) 249-88-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2820-9714>).

Долотова Наталья Васильевна – доктор медицинских наук, старший научный сотрудник отдела охраны здоровья детей (e-mail: dolotovan@inbox.ru; тел.: 8 (903) 879-17-05; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2449-0580>).

ния как отдельных факторов, так и их совокупностей. Особенно актуальна эта проблема встает в критические периоды, а именно в пубертатном возрасте, когда организм наиболее чувствителен к различным влияниям [6, 7].

В настоящее время особую значимость для формирования здоровья имеет проблемное использование Интернета. Еще в 1995 г. Айвен Голдберг ввел термин «интернет-зависимость» и описал его как патологическую, непреодолимую тягу к Интернету.

Интернет-зависимость с позиции классической психологии и психиатрии – относительно новое явление. В литературе используются взаимозаменяемые термины: «компульсивное использование Интернета»; «проблемное использование Интернета»; «патологическое использование Интернета»; «интернет-зависимость».

По определению, данному в методических рекомендациях, разработанных специалистами ФГБУ НМИЦ ПН им. В.П. Сербского, интернет-зависимость – группа патологических состояний, основными признаками которых являются: сильное, непреодолимое желание быть в Интернете; невозможность контролировать свое поведение во время интернет-активности; состояние отмены с физическим и психическим дискомфортом; повышение толерантности; поглощенность действиями, совершаемыми в Интернете, в ущерб другой активности; продолжение такого поведения вопреки очевидным негативным его последствиям¹.

Непреодолимое влечение к компьютерным играм, интернет-общению сопровождается у подростков эмоциональными нарушениями при запретах и попытках отвлечь от компьютера [8–10]. При длительном использовании компьютера в статической позе появляются головные боли, боли в мышцах, позвоночнике, кистях, сухость в глазах, признаки вегетативной дистонии, нарушается сон, режим питания [11–14]. Психосоматические нарушения при интернет-зависимости изучены недостаточно, различаются данные об их распространенности, отсутствуют подходы к прогнозированию и комплексной профилактике [15–19]. Поэтому важной задачей является прогнозирование интернет-зависимости, риска интернет-зависимости и сопряженных с ними психосоматических нарушений.

Цель исследования – выявление факторов риска интернет-зависимости и ее последствий для психосоматического здоровья у подростков 15–17 лет.

Материалы и методы. Проведено изучение психосоматического здоровья подростков 15–17 лет

с интернет-зависимостью, обучающихся в муниципальных общеобразовательных учреждениях г. Иваново (507 человек). Уровень интернет-зависимости (ИЗ) оценивался с помощью методики С. Чена. Выделены две группы: 50 подростков без ИЗ, 50 – с ИЗ.

Личностные особенности подростков выявляли по тесту Г. Айзенка (адаптация А.Г. Шмелева)². Для выявления методов воспитания родителей так, как видят их подростки, был использован опросник Е. Шафер «Поведение родителей и отношение подростков к ним»³.

С помощью авторской анкеты у подростков выявляли синдромы невротических расстройств. Проведена выкопировка соматической патологии из историй развития ребенка (форма № 112/у) и медицинской карты школьника (форма № 026/у). Оценку индивидуального физического развития проводили методом сигмальных отклонений с использованием региональных возрастных нормативов.

Достоверность различий между показателями выборок с нормальным распределением оценивалась с помощью *t*-критерия (Стьюдента), если распределение отличалось от нормального – непараметрического критерия *U* (Манна – Уитни). Отношения шансов (ОШ) различных факторов рассчитывались в программе OpenEpi с определением 95%-ного доверительного интервала (95 % ДИ).

Исследование имеет ограничения по возрасту (15–17 лет), региону (г. Иваново) и распространяется только на обучающихся общеобразовательных учебных организаций.

Проведенное исследование соответствует стандартам Хельсинкской декларации, одобрено независимым этическим комитетом ФГБУ «Ивановский научно-исследовательский институт материнства и детства имени В.Н. Городкова» МЗ РФ, протокол № 5 от 21.11.2022. Все лица, вошедшие в исследование, подписали письменное информированное добровольное согласие.

Результаты и их обсуждение. Сравнительный анализ показал, что у подростков с экстравертированным типом личности риск формирования ИЗ в 2,5 раза выше (ОШ = 2,5, 95 % ДИ: 1,0–6,4), а с высоким уровнем нейротизма – в 11,1 раза выше (ОШ = 11,1, 95 % ДИ: 4,2–29,1), чем у сверстников без интернет-зависимости [20].

Методика Е. Шафера оценивает мнение подростков о воспитании родителей при помощи трех факторных переменных: принятие – отвержение, психологический контроль – автономия, скрытый контроль – открытый контроль.

¹ Пережогин Л.О., Федонкина А.А. Интернет-зависимость: предпосылки формирования, клиническая картина, лечение и профилактика: методические рекомендации. – М.: ФГБУ НМИЦ ПН им. В.П. Сербского Минздрава России, 2024. – 33 с.

² Забродин Ю.М., Пахальян В.Э. Психодиагностика. – М.: Эксмо, 2010. – 448 с.

³ Шафер Е. Опросник «Поведение родителей и отношение подростков к ним» (ПОР) // Сонин В.А. Психодиагностическое познание профессиональной деятельности: уч. пособие. – СПб.: Речь, 2004. – С. 169–178.

По мнению подростков с ИЗ, у родителей чаще слабо выражен позитивный интерес к ним (54 и 24 %; $p = 0,03$), чем у подростков без ИЗ (табл. 1).

У подростков с ИЗ чаще слабо выражена автономность от родителей (46 и 12 %; $p = 0,03$), реже – автономность отчетливо выражена (15 и 64 %; $p = 0,002$), чем у подростков без ИЗ.

Слабый позитивный интерес родителей повышает риск формирования ИЗ у подростков в 1,75 раза (ОШ = 1,75, 95 % ДИ: 0,48–6,3), а слабая автономность родителей – в 6,2 раза (ОШ = 6,2, 95 % ДИ: 1,5–26,3).

Подростки с ИЗ в 2,6 раза чаще отмечают выраженную директивность и враждебность родителей, чем подростки без ИЗ (31 и 12 %; 38 и 12 % соответственно; $p > 0,05$).

Следовательно, формирование ИЗ у подростков во многом определяется тем, как подросток воспринимает установки, поведение, методы воспитания и отношение к нему родителей.

При наличии ИЗ подростки чаще, чем без зависимости, отмечают слабый позитивный интерес и автономность родителей, несколько чаще выраженную непоследовательность проводимого ими воспитания, воспринимают отношение родителей как директивное и враждебное.

Таким образом, факторами риска формирования ИЗ являются высокий уровень нейротизма, эстравертированный тип личности подростка, а также воспитание со слабым позитивным интересом и автономностью.

Выявление факторов риска ИЗ у подростков важно для организации ранней целенаправленной психологической профилактики.

В ранее опубликованных нами исследованиях [21] было установлено, что у подростков с ИЗ, в отличие от сверстников без ИЗ, чаще определялись: соматовегетативный, гипердинамический, астенический, фобический синдромы и синдром навязчивых движений (табл. 2).

Таблица 1

Частота методов воспитания родителей, по мнению подростков, и эти методы как факторы риска интернет-зависимости (%)

Параметр	Выраженность	Без ИЗ	С наличием ИЗ	P_1-P_2 ОШ ₁₋₂
		1	2	
Позитивный интерес	Слабая	24	54	$p = 0,03$ ОШ = 1,75 (0,48–6,3)
	Норма	24	8	$p > 0,05$
	Выражена	52	38	$p > 0,05$
Директивность	Слабая	72	54	$p > 0,05$
	Норма	16	15	$p > 0,05$
	Выражена	12	31	$p > 0,05$
Враждебность	Слабая	64	46	$p > 0,05$
	Норма	24	15	$p > 0,05$
	Выражена	12	38	$p > 0,05$
Автономность	Слабая	12	46	$p = 0,03$ ОШ = 6,2 (1,5–26,3)
	Норма	24	38	$p > 0,05$
	Выражена	64	15	$p = 0,002$ ОШ = 0,102 (0,03–0,4)
Непоследовательность	Слабая	80	54	$p = 0,048$
	Норма	4	23	$p > 0,05$
	Выражена	16	23	$p > 0,05$

Таблица 2

Частота невротических расстройств у подростков 15–17 лет с различной выраженностью интернет-зависимости (%)

Синдром	Без ИЗ	С наличием ИЗ	P_1-P_2 ОШ ₁₋₂
Соматовегетативный	86,0	98,0	$< 0,03$
Гипердинамический	40,0	78,0	$< 0,001$ ОШ = 5,3 (2,2–12,7)
Астенический	40,0	78,0	$< 0,001$ ОШ = 5,3 (2,2–12,7)
Фобический	38,0	64,0	$< 0,01$ ОШ = 2,9 (1,3–6,5)
Навязчивые движения	32,0	62,0	$< 0,003$ ОШ = 3,4 (1,5–7,9)
Патохарактерологические реакции	60,0	74,0	$> 0,05$
Дисморфофобический	14,0	24,0	$> 0,05$

Установлено, что у подростков с ИЗ в 5,3 раза выше риск гипердинамического и астенического синдромов (ОШ = 5,3, 95 % ДИ: 2,2–12,7), в 2,9 раза выше риск фобического синдрома (ОШ = 2,9, 95 % ДИ: 1,3–6,5), в 3,4 раза – риск синдрома навязчивых движений (ОШ = 3,4, 95 % ДИ: 1,5–7,9), чем у сверстников без ИЗ.

Подростки с ИЗ имели статистически значимо большее общее число случаев заболеваний по классу болезней глаза и его придаточного аппарата (48 и 20 %, $p < 0,004$), за счет миопии (44 и 10 %, $p < 0,001$); по классу болезней костно-мышечной системы и соединительной ткани (58 и 30 %, $p < 0,049$) за счет нарушений осанки (18 и 8 %, $p > 0,05$) и сколиозов (20 и 10 %, $p > 0,05$); по классу болезней органов пищеварения (32 и 6 %, $p < 0,003$), чем подростки без интернет-зависимости.

У подростков с ИЗ в 7 раз выше риск миопии (ОШ = 7,0; 95 % ДИ: 2,4–20,8), в 3,6 раза – болезнью глаза и его придаточного аппарата (ОШ = 3,6; 95 % ДИ: 1,5–8,9), в 7,3 раза – болезнью органов пищеварения (ОШ = 7,3; 95 % ДИ: 1,9–27,3), в 3,2 раза – болезнью костно-мышечной системы и соединительной ткани (ОШ = 3,2; 95 % ДИ: 1,4–7,3), по сравнению с подростками без ИЗ (рисунок).

Анализ показателей физического развития показал, что у подростков с ИЗ дефицит массы тела выявлялся чаще (30 и 12 %, $p < 0,05$), по сравнению с таковой у подростков без ИЗ [22]. Риск формирования дефицита массы тела у них в 3,1 раза выше, чем у подростков без ИЗ (ОШ = 3,1; 95 % ДИ: 1,1–8,9) (см. рисунок).

Следовательно, ИЗ у подростков является фактором риска психосоматических нарушений здоровья, а именно: гипердинамического, астенического, фобического синдромов, синдрома навязчивых движений; болезнью глаза и его придаточного аппарата, органов пищеварения, костно-мышечной системы и соединительной ткани, дефицита массы тела.

Проведенные нами исследования выявили, что факторами риска ИЗ являются высокий уровень нейротизма и экстравертированный тип личности. Для экстравертов интернет-среда удовлетворяет очень важную для них проблему расширения существующих возможностей общения, поэтому у них чаще отмечается патологическое использование Интернета. В ранее проведенных исследованиях отмечались такие личностные факторы риска ИЗ, как эмоциональная реактивность, тревожность, импульсивность, низкий самоконтроль и нарушение функций торможения [23–32]. Именно эти черты личности характерны для подростков с высоким нейротизмом.

Выявлено, что факторами риска ИЗ является воспитание со слабым позитивным интересом и автономностью родителей, что свидетельствует о слабой заинтересованности родителей делами подростков и стремлением подростков к самостоятельности. Более частая выраженная непоследовательность воспитания влияет на снижение самоконтроля подростков, что согласуется с литературными данными. Из-за такого стиля семейного воспитания, как директивность, которая проявляется в жестком контроле и в доминантном стиле общения, у подростков с проблемным использованием Интернета ярко выражена рефлексия нарушения границ [33, 34].

Влияние ИЗ на психосоматическое здоровье подростков является одной из актуальных проблем современной психологии и педиатрии.

Увеличение коморбидности невротических расстройств у подростков с ИЗ указывает на их неспособность к адекватной саморегуляции и самоконтролю, что подчеркивает необходимость разработки эффективных профилактических и терапевтических мер.

Более частая патология костно-мышечной системы и соединительной ткани, в основном за счет нарушений осанки и сколиозов, а также болезни глаза у подростков с ИЗ обусловлены длительным



Рис. Интернет-зависимость как фактор риска возникновения психосоматических нарушений здоровья (метод отношения шансов)

статическим напряжением при работе за компьютером, нахождением в вынужденной позе, гиподинамией. Интернет-зависимость у подростков повышает риск болезней органов пищеварения, что обусловлено нарушением пищевого поведения: нерегулярным и неправильным питанием в связи с частым и длительным использованием гаджетов [32–34].

Представленные результаты указывают на важность комплексной междисциплинарной профилактики ИЗ у подростков на относительно ранних этапах формирования зависимого поведения и способны помочь избежать необходимости обращения в будущем за специализированной медицинской помощью [35–37].

При выявлении факторов риска ИЗ у подростков, таких как высокий уровень нейротизма, эстравертированный тип личности, воспитание со слабым позитивным интересом и автономностью родителей, необходимо осуществлять комплекс профилактических мероприятий, включающий:

- формирование осознанного и безопасного поведения в цифровой среде, развитие критического мышления и навыков фильтрации информации [22, 23];

- проведение коррекции семейных воспитательных практик, направленных на повышение позитивного интереса родителей к подросткам и автономности, проведение совместных тренингов общения;

- развитие у подростков альтернативных интересов: спорт, творчество, волонтерство, участие в кружках и секциях, что способствует гармоничному развитию личности [24, 25];

- профилактические осмотры с использованием нейросетевых программ для прогнозирования риска интернет-зависимости, своевременного выявления психосоматических нарушений.

Выявленный риск психосоматических нарушений у подростков с ИЗ обосновывает важность диагностики и коррекции нарушений здоровья при комплексном междисциплинарном подходе с участием психолога, педиатра, других специалистов по показаниям, включающем:

- психотерапевтическую помощь, направленную на коррекцию невротических и поведенческих расстройств, развитие навыков общения, повышение стрессоустойчивости;

- мониторинг физического развития с отслеживанием динамики массы тела, контролем пищевого поведения, фактического питания с достаточным количеством белков, жиров, углеводов, микроэлементов и витаминов;

- контроль физической активности и режима дня подростков;

- контроль и своевременную коррекцию остроты зрения;

- повышение информированности подростков по вопросам взаимосвязи интернет-зависимости, психосоматического и социального здоровья, о факторах риска их нарушений;

- реабилитационные программы с комплексным подходом, включающие восстановление физического здоровья с приобщением подростков к эмоционально насыщенным и физически активным мероприятиям.

Выводы:

1. Факторами риска формирования интернет-зависимости у подростков 15–17 лет являются: высокий уровень нейротизма (ОШ = 11,1; 95 % ДИ: 4,2–29,1), эстравертированный тип личности (ОШ = 2,5; 95 % ДИ: 1,0–6,4), воспитание со слабым позитивным интересом (ОШ = 1,75; 95 % ДИ: 0,48–6,3) и автономностью родителей (ОШ = 6,2; 95 % ДИ: 1,5–26,3), по мнению подростков.

2. Интернет-зависимость является фактором риска невротических расстройств: гипердинамического и астенического синдромов (ОШ = 5,3; 95 % ДИ: 2,2–12,7), фобического синдрома (ОШ = 2,9; 95 % ДИ: 1,3–6,5), синдрома навязчивых движений (ОШ = 3,4; 95 % ДИ: 1,5–7,9), болезней глаза (ОШ = 3,6; 95 % ДИ: 1,5–8,9), органов пищеварения (ОШ = 7,3; 95 % ДИ: 1,9–27,3), костно-мышечной системы и соединительной ткани (ОШ = 3,2; 95 % ДИ: 1,4–7,3), дефицита массы тела (ОШ = 3,1; 95 % ДИ: 1,1–8,9) у подростков 15–17 лет.

3. Выявленный риск психосоматических нарушений у подростков 15–17 лет с интернет-зависимостью обосновывает важность их прогнозирования, комплексной междисциплинарной профилактики и коррекции с участием психолога, педиатра, других специалистов по показаниям.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Список литературы

1. Галиева Р.М., Макушкина О.М. Исследование клинико-психологических особенностей интернет-зависимости подростков // Человек в условиях социальных изменений: материалы Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2023. – С. 181–185.
2. Формирование единой профилактической среды общеобразовательной организации с целью управления рисками школьно-обусловленной патологии / Е.С. Богомолова, Е.В. Жилиева, Т.В. Бадеева, А.Н. Писарева, М.В. Шапошникова, О.А. Чучина, В.А. Малинин // Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. – 2019. – № 2. – С. 56–58.
3. Яремчук М.С., Гиенко Л.Н. Профилактика интернет-зависимости у детей в условиях школы // Психолого-педагогические аспекты совершенствования подготовки студентов вуза: материалы межвузовской студенческой научно-практической конференции с международным участием: в 2 ч. – Новосибирск, 2021. – Ч. 2. – С. 102–105.

4. Чубаровский В.В., Лабутьева И.С., Кучма В.Р. Пограничные психические расстройства у обучающихся подростков: распространенность, факторы риска, основы психогигиены // Российский педиатрический журнал. – 2018. – № 21 (3). – С. 161–167. DOI: 10.18821/1560-9561-2018-21-3-161-167
5. Региональная модель единого информационного пространства по формированию здорового образа жизни школьников / О.М. Филькина, Е.А. Воробьева, Н.В. Долотова, А.В. Бобошко // Российский педиатрический журнал. – 2024. – Т. 27, Приложение 3. – С. 92.
6. Ионина О.С., Оплетева В.А. Психологические причины и последствия ухода подростков в виртуальную реальность // Национальная безопасность и молодежная политика: киберсоциализация и трансформация ценностей в VUCA-мире: материалы Международной научно-практической конференции. – Челябинск, 2021. – С. 352–356.
7. Москаленко О.Л. Проблема интернет-аддикции в анализе российских и зарубежных исследований // Психиатрия и психофармакотерапия. – 2024. – № 26 (5). – С. 18–25.
8. Association of screen time and cardiometabolic risk in school-aged children / M. Vanderloo, C.D.G. Keown-Stoneman, H. Sivanesan, P.C. Parkin, J.L. Maguire, L.N. Anderson, M.S. Tremblay, C.S. Birken [et al.] // Prev. Med. Rep. – 2020. – Vol. 20. – P. 101183. DOI: 10.1016/j.pmedr.2020.101183
9. Первичные головные боли у подростков с зависимостью от компьютерных игр и социальных сетей. Подходы к лечению и профилактике мигрени у детей и подростков / Ю.П. Костюченко, Т.В. Потупчик, Л.С. Эверт, М.В. Шубина, О.В. Чудинова // Врач. – 2023. – № 34 (6). – С. 18–25. DOI: 10.29296/25877305-2023-06-03
10. Взаимосвязь интернет-зависимости и нарушений сна у подростков центральной Сибири при разных видах потребляемого контента / С.Ю. Терещенко, М.В. Шубина, Н.Б. Семенова, Л.С. Эверт, Н.Н. Горбачева // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2022. – Т. 122, № 5–2. – С. 58–64. DOI: 10.17116/jnevro202212205258
11. Характеристика психического статуса интернет-зависимых подростков: гендерные и возрастные особенности / Н.Б. Семенова, С.Ю. Терещенко, Л.С. Эверт, М.В. Шубина // Профилактическая медицина. – 2022. – Т. 25, № 8. – С. 83–89. DOI: 10.17116/profmed20222508183
12. Терещенко С.Ю., Смольникова М.В. Нейробиологические факторы риска формирования интернет-зависимости у подростков: актуальные гипотезы и ближайшие перспективы // Социальная психология и общество. – 2020. – Т. 11, № 1. – С. 55–71. DOI: 10.17759/sps.2020110104
13. Рерке В.И., Портная Я.А. Интернет-зависимость младших подростков: изучение и организация профилактики // Вестник Омского университета. Серия: Психология. – 2021. – № 2. – С. 25–33. DOI: 10.24147/24106364.2021.2.25-33
14. Интернет-среда как источник психологических проблем и ресурс для совладания с ними у подростков / Л.А. Регущ, Е.В. Алексеева, О.Р. Веретина, А.В. Орлова, Ю.С. Пежемская // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. – 2024. – № 212. – С. 146–160. DOI: 10.33910/1992-6464-2024-212-146-160
15. Кузьмина Г.В., Чудинова О.В., Эверт Л.С. Особенности внимания школьников 12–16 лет со сформированным и устойчивым интернет-зависимым поведением // MODERN SCIENCE. – 2021. – № 1–2. – С. 232–236.
16. Пекониди А.В. Цифровая зависимость у детей и подростков. Современные стратегии диагностики и лечения // РМЖ. Медицинское обозрение. – 2021. – Т. 5, № 5. – С. 322–329. DOI: 10.32364/2587-6821-2021-5-5-322-329
17. Диривянкина О.В. Зависимость от гаджетов у старших школьников: генезис проблемы, подходы к профилактике // Проблемы современного педагогического образования. – 2024. – № 85–1. – С. 409–412.
18. The Cyclic Value-Context Reinforcement Model of Problematic Internet Use: Empirical Validation Using a Thematic Analysis of Children’s Counseling Data / Y.Y. Doh, B. Kim, S. Lee, G. Gweon // J. Med. Internet Res. – 2020. – Vol. 22, № 7. – P. e17996. DOI: 10.2196/17996
19. Group psychological counselling as a form of prevention of adolescent addictive behavior / S. Berdibayeva, S. Zhiyenbayeva, F. Sakhiyeva, A. Garber, M. Kabakova, D. Ivanov // Psychiatr. Psychol. Klin. – 2021. – Vol. 21, № 2. – P. 95–103. DOI: 10.15557/PIPK.2021.0010
20. Личностные факторы риска развития интернет-зависимости у подростков 15–17 лет / О.Ю. Кочерова, О.М. Филькина, А.В. Бобошко, Е.А. Воробьева, Н.В. Долотова, А.И. Малышкина // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 3. – С. 21–29. DOI: 10.21668/health.risk/2024.3.03
21. Частота и гендерные особенности невротических расстройств у подростков 15–17 лет с разной выраженностью интернет-зависимости / О.Ю. Кочерова, О.М. Филькина, А.В. Бобошко, Е.А. Воробьева, Н.В. Долотова // Вопросы психического здоровья детей и подростков. – 2024. – Т. 24, № 4. – С. 35–44.
22. Физическое развитие подростков 15–17 лет с различной интернет-зависимостью / О.М. Филькина, А.В. Бобошко, Е.А. Воробьева, О.Ю. Кочерова, Н.В. Долотова // Вестник Ивановской медицинской академии. – 2024. – Т. 29, № 3. – С. 15–21. DOI: 10.52246/1606-8157_2024_29_3_15
23. Кацубина Ю.С., Дарендорф М.В. Психолого-педагогическая профилактика интернет-зависимости подростков // Наука в жизни человека. – 2024. – № 1. – С. 44–51.
24. Гилева Н.С. К вопросу о профилактике интернет-зависимости у подростков // Наука о человеке: гуманитарные исследования. – 2016. – № 4 (26). – С. 136–139. DOI: 10.17238/issn1998-5320.2016.26.136
25. Ерназарова А.Г. Профилактика интернет-зависимости у подростков // Вестник магистратуры. – 2022. – № 12–2 (135). – С. 77–79.
26. Тамоева Н.Д. К вопросу о психолого-педагогическом сопровождении в профилактике интернет-зависимости подростков // Обучение, развитие, воспитание в современном образовательном процессе: сборник статей XII Международной научно-практической конференции. – Петрозаводск, 2024. – С. 238–243.
27. Золотухина А.С. Профилактика интернет-зависимости у подростков в образовательном пространстве средней школы // Молодой ученый. – 2025. – № 14 (565). – С. 174–177.
28. Internet addiction and child physical and mental health: Evidence from panel dataset in China / M. Zhou, W. Zhu, X. Sun, L. Huang // J. Affect. Disord. – 2022. – Vol. 309. – P. 52–62. DOI: 10.1016/j.jad.2022.04.115

29. Huang C. A meta-analysis of the problematic social media use and mental health // *Int. J. Soc. Psychiatry.* – 2022. – Vol. 68, № 1. – P. 12–33. DOI: 10.1177/0020764020978434

30. Wartberg L., Thomasius R., Paschke K. The relevance of emotion regulation, procrastination, and perceived stress for problematic social media use in a representative sample of children and adolescents // *Computers in Human Behavior.* – 2021. – Vol. 121. – P. 106788. DOI: 10.1016/j.chb.2021.106788

31. Social Media Usage and Development of Psychiatric Disorders in Childhood and Adolescence: A Review / I. Cataldo, B. Lepri, M.J.Y. Neoh, G. Esposito // *Front. Psychiatry.* – 2021. – Vol. 11. – P. 508595. DOI: 10.3389/fpsy.2020.508595

32. Чахнашвили М.Л., Иванов Д.В. Влияние цифровизации на здоровье детей и подростков // *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание.* – 2022. – Т. 16, № 3. – С. 56–66. DOI: 10.24412/2075-4094-2022-3-2-2

33. Водяха С.А., Водяха Ю.Е. Психологические особенности образа родителей у подростков с интернет-аддикцией // *Перспективы науки и образования.* – 2022. – № 2 (56). – С. 491–505. DOI: 10.32744/pse.2022.2.29

34. Рецидивирующие болевые синдромы у студентов с зависимостью от смартфона и коррекция ассоциированных функциональных нарушений / Л.С. Эверт, Т.В. Потупчик, Ю.Р. Костюченко, А.П. Кондакова, Я.В. Винокурова // *Врач.* – 2024. – № 6. – С. 61–68. DOI: 10.29296/25877305-2024-06-12

35. Гигиеническая оценка влияния факторов цифровой среды на организм подростков в процессе образовательной и досуговой деятельности / Е.И. Шубочкина, В.Ю. Иванов, В.В. Чепрасов, М.В. Айзятова // *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО.* – 2021. – № 6 (339). – С. 71–77. DOI: 10.35627/2219-5238/2021-339-6-71-77

Факторы риска интернет-зависимости и ее последствий для здоровья у подростков 15–17 лет / О.М. Филькина, А.И. Малышкина, О.Ю. Кочерова, А.В. Бобошко, Е.А. Воробьева, Н.В. Долотова // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 86–94. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.08

UDC 616.1/8–053.6:681.3

DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.08.eng



Research article

RISK FACTORS FOR INTERNET ADDICTION AND HEALTH CONSEQUENCES IN 15-17-YEAR-OLD ADOLESCENTS

**О.М. Filkina, A.I. Malyshkina, O.Yu. Kocherova, A.V. Boboshko,
E.A. Vorobyeva, N.V. Dolotova**

Ivanovo Research Institute of Motherhood and Childhood named after V.N. Gorodkov, 20 Pobedy Str., Ivanovo, 153045, Russian Federation

In the age of digitalization, more and more adolescents are faced with the problem of excessive internet use, making it important to predict internet addiction and associated psychosomatic disorders.

The aim of this study was to identify risk factors for internet addiction and its consequences for psychosomatic health in adolescents aged 15–17 years.

© Filkina O.M., Malyshkina A.I., Kocherova O.Yu., Boboshko A.V., Vorobyeva E.A., Dolotova N.V., 2026

Olga M. Filkina – Honored Doctor of the Russian Federation, Honored Scientist of the Russian Federation, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Children's Health (e-mail: omfilkina@mail.ru; tel.: +7 (903) 888-91-94; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2228-748X>).

Anna I. Malyshkina – Doctor of Medical Sciences, Professor, director (e-mail: ivniimid@inbox.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1145-0563>).

Olga Yu. Kocherova – Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher at the Department of Children's Health (e-mail: ivniideti@mail.ru; tel.: +7 (961) 246-24-41; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2473-8339>).

Aleksey V. Boboshko – postgraduate student of the Department of Children's Health (e-mail: lesa.boboshko.96@mail.ru; tel.: +7 (910) 685-26-36).

Elena A. Vorobyova – Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher at the Department of Children's Health (e-mail: ivniideti@mail.ru; tel.: +7 (909) 249-88-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2820-9714>).

Natalya V. Dolotova – Doctor of Medical Sciences, Senior Researcher at the Department of Children's Health (e-mail: dolotovan@inbox.ru; tel.: +7 (903) 879-17-05; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2449-0580>).

A comprehensive study involved 507 adolescents aged 15–17 years attending municipal budgetary general education institutions in Ivanovo. Internet addiction was assessed using S. Chen's method; personality traits were determined using the Eysenck test, and parenting methods were assessed using E. Shafer's questionnaire "Parental Behavior and Adolescents' Attitudes Toward Them". Neurotic disorders were identified in the adolescents using the author's questionnaire. Data on somatic pathology were taken from child development records (Form No. 112/u) and schoolchild medical records (Form No. 026/u). Individual physical development was assessed using the sigma deviation method relying on local age standards. Data were statistically analyzed using conventional methods of variation statistics.

Risk factors for the formation of Internet addiction in adolescents included high level of neuroticism (OR = 11.1, 95 % CI: 4.2–29.1), an extroverted personality type (OR = 2.5, 95 % CI: 1.0–6.4), upbringing with weak positive interest (OR = 1.75, 95 % CI: 0.48–6.3), and parental autonomy (OR = 6.2, 95 % CI: 1.5–26.3). Internet addiction is a risk factor for neurotic disorders (hyperdynamic and asthenic syndromes (OR = 5.3, 95 % CI: 2.2–12.7), phobic syndrome (OR = 2.9, 95 % CI: 1.3–6.5), compulsive movement syndrome (OR = 3.4, 95 % CI: 1.5–7.9), diseases of the eye (OR = 3.6, 95 % CI: 1.5–8.9), digestive organs (OR = 7.3, 95 % CI: 1.9–27.3), musculoskeletal system and connective tissue (OR = 3.2, 95 % CI: 1.4–7.3), and body weight deficiency (OR = 3.1, 95 % CI: 1.1–8.9).

The identified risk factors for Internet addiction and the risk factors for psychosomatic disorders in Internet addiction justify the importance of comprehensive interdisciplinary rehabilitation for adolescents as well as a system for preventing health risks of the foregoing health disorders.

Keywords: adolescents aged 15–17 years, internet addiction, risk factors for internet addiction, risk factors for psychosomatic health disorders, forecasting, interdisciplinary approach.

References

- Galieva R.M., Makushkina O.M. Issledovanie kliniko-psikhologicheskikh osobennosti internet-zavisimosti podrostkov [A study of clinical and psychological characteristics of internet addiction in adolescents]. *Chelovek v usloviyakh sotsial'nykh izmenenii: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Ufa, 2023, pp. 181–185 (in Russian).
- Bogomolova E.S., Zhilyaeva E.V., Badeeva T.V., Pisareva A.N., Shaposhnikova M.V., Kuchina O.A., Malinin V.A. The formation of the environment of a general educational institution with the purpose of risk management of school-related disorders. *Voprosy shkol'noi i universitetskoj meditsiny i zdorov'ya*, 2019, no. 2, pp. 56–58 (in Russian).
- Yaremchuk M.S., Gienko L.N. Profilaktika internet-zavisimosti u detei v usloviyakh shkoly [Prevention of Internet addiction in children in school setting]. *Psikhologo-pedagogicheskie aspekty sovershenstvovaniya podgotovki studentov vuza: materialy mezhvuzovskoi studencheskoj nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem: in 2 parts*. Novosibirsk, 2021, pt. 2, pp. 102–105 (in Russian).
- Chubarovsky V.V., Labuteva I.S., Kuchma V.R. Border mental disorders in training teenagers: prevalence, risk factors, foundations of psycho-hygiene. *Rossiiskii pediatricheskii zhurnal*, 2018, no. 21 (3), pp. 161–167. DOI: 10.18821/1560-9561-2018-21-3-161-167 (in Russian).
- Filkina O.M., Vorobeva E.A., Dolotova N.V., Boboshko A.V. Regional'naya model' edinogo informatsionnogo prostranstva po formirovaniyu zdorovogo obraza zhizni shkol'nikov [Regional model of a unified information space for the formation of a healthy lifestyle for schoolchildren]. *Rossiiskii pediatricheskii zhurnal*, 2024, vol. 27, no. S3, pp. 92 (in Russian).
- Ionina O.S., Opletaeva V.A. Psikhologicheskie prichiny i posledstviya ukhoda podrostkov v virtual'nyu real'nost' [Psychological causes and consequences of teenagers' escape into virtual reality]. *Natsional'naya bezopasnost' i molodezhnaya politika: kibersotsializatsiya i transformatsiya tsennostei v VUCA-mire: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Chelyabinsk, 2021, pp. 352–356 (in Russian).
- Moskalenko O.L. Problema internet-addiktzii v analize Rossiiskikh i zarubezhnykh issledovaniy [The Problem of Internet Addiction in the Analysis of Russian and Foreign Research]. *Psikhiatriya i psikhofarmakoterapiya*, 2024, no. 26 (5), pp. 18–25 (in Russian).
- Vanderloo M., Keown-Stoneman C.D.G., Sivanesan H., Parkin P.C., Maguire J.L., Anderson L.N., Tremblay M.S., Birken C.S. [et al.]. Association of screen time and cardiometabolic risk in school-aged children. *Prev. Med. Rep.*, 2020, vol. 20, pp. 101183. DOI: 10.1016/j.pmedr.2020.101183
- Kostyuchenko Yu., Potupchik T., Evert L., Shubina M., Chudinova O. Primary headaches in adolescents with dependence on computer games and social networks. Approaches to the treatment and prevention of migraine in children and adolescents. *Vrach*, 2023, no. 34 (6), pp. 18–25. DOI: 10.29296/25877305-2023-06-03 (in Russian).
- Tereshchenko S.Yu., Shubina M.V., Semenova N.B., Evert L.S., Gorbacheva N.N. The relationship between internet addiction and sleep disorders in adolescents of Central Siberia in different types of consumed content. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova*, 2022, vol. 122, no. 5–2, pp. 58–64 (in Russian).
- Semenova N.B., Tereshchenko S.Yu., Evert L.S., Shubina M.V. Characteristics of the mental status of internet-addicted adolescents: aspects of gender and age. *Profilakticheskaya meditsina*, 2022, vol. 25, no. 8, pp. 83–89. DOI: 10.17116/profmed20222508183 (in Russian).
- Tereshchenko S.Yu., Smolnikova M.V. Neurobiological risk factors in the formation of internet addiction in adolescence: vital hypotheses and the nearest perspectives. *Sotsialnaya psikhologiya i obshchestvo*, 2020, vol. 11, no. 1, pp. 55–71. DOI: 10.17759/sps.2020110104 (in Russian).
- Rerke V.I., Portnaia I.A. The internet addiction of younger adolescents: research and organization of prevention. *Vestnik Omskogo universiteta. Seriya «Psikhologiya»*, 2021, no. 2, pp. 25–33. DOI: 10.24147/24106364.2021.2.25-33 (in Russian).
- Regush L.A., Alekseeva E.V., Veretina O.R., Orlova A.V., Pezhemskaya Yu.S. The internet environment as a source of psychological problems and a coping resource for teenagers. *Izvestiya RGPU im. A.I. Gertsena*, 2024, no. 212, pp. 146–160. DOI: 10.33910/1992-6464-2024-212-146-160 (in Russian).

15. Kuzmina G.V., Chudinova O.V., Evert L.S. Osobennosti vnimaniya shkolnikov 12–16 let so sformirovannym i us-toichivym internet-zavisimym povedeniem [Attention characteristics of 12–16 year old schoolchildren with established and persistent internet-addicted behavior]. *MODERN SCIENCE*, 2021, no. 1–2, pp. 232–236 (in Russian).
16. Pekonidi A.V. Digital addiction in children and adolescents. Contemporary strategies of diagnostics and treatment. *RMZh. Meditsinskoe obozrenie*, 2021, vol. 5, no. 5, pp. 322–329. DOI: 10.32364/2587-6821-2021-5-5-322-329 (in Russian).
17. Dirivyankina O.V. Gadget addiction in high school students: the genesis of the problem, approaches to prevention. *Problemy sovremennoogo pedagogicheskogo obrazovaniya*, 2024, no. 85–1, pp. 409–412 (in Russian).
18. Doh Y.Y., Kim B., Lee S., Gweon G. The Cyclic Value-Context Reinforcement Model of Problematic Internet Use: Empirical Validation Using a Thematic Analysis of Children’s Counseling Data. *J. Med. Internet Res.*, 2020, vol. 22, no. 7, pp. e17996. DOI: 10.2196/17996
19. Berdibayeva S., Zhiyenbayeva S., Sakhiyeva F., Garber A., Kabakova M., Ivanov D. Group psychological counseling as a form of prevention of adolescent addictive behavior. *Psychiatr. Psychol. Klin.*, 2021, vol. 21, no. 2, pp. 95–103. DOI: 10.15557/PiPK.2021.0010
20. Kocherova O.Yu., Filkina O.M., Boboshko A.V., Vorobyova E.A., Dolotova N.V., Malysheva A.I. Personal risk factors of internet addiction in adolescents aged 15–17 years. *Health Risk Analysis*, 2024, no. 3, pp. 21–29. DOI: 10.21668/health.risk/2024.3.03.eng
21. Kocherova O.Yu., Filkina O.M., Boboshko A.V., Vorobyeva E.A., Dolotova N.V. Frequency and gender features of neurotic disorders in teenagers aged 15–17 with various severity of internet-addiction. *Voprosy psikhicheskogo zdorov'ya detei i podrostkov*, 2024, vol. 24, no. 4, pp. 35–44 (in Russian).
22. Filkina O.M., Boboshko A.V., Vorobyova E.A., Kocherova O.Yu., Dolotova N.V. Physical development of 15–17 year-old teenagers with various internet dependence. *Vestnik Ivanovskoi meditsinskoi akademii*, 2024, vol. 29, no. 3, pp. 15–23. DOI: 10.52246/1606-8157_2024_29_3_15 (in Russian).
23. Katsubina Yu.S., Darendorf M.V. Psychological and pedagogical prevention internet addiction of teenagers. *Nauka v zhizni cheloveka*, 2024, no. 1, pp. 44–51 (in Russian).
24. Gileva N.S. The question of the prevention of internet addiction among adolescents. *Nauka o cheloveke: gumanitarnye issledovaniya*, 2016, no. 4 (26), pp. 136–139. DOI: 10.17238/issn1998-5320.2016.26.136 (in Russian).
25. Ernazarova A.G. Profilaktika internet-zavisimosti u podrostkov [Preventing Internet Addiction in Teens]. *Vestnik magistratury*, 2022, no. 12–2 (135), pp. 77–79 (in Russian).
26. Tamoeva N.Ja. On the issue of psychological and pedagogical support in the prevention of internet addiction among adolescents. *Obuchenie, razvitiye, vospitanie v sovremennoom obrazovatel'nom protsesse: sbornik statei XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Petrozavodsk, 2024, pp. 238–243 (in Russian).
27. Zolotuhina A.S. Prevention of internet addiction among teenagers in the educational space of secondary schools. *Molodoi uchenyi*, 2025, no. 14 (565), pp. 174–177 (in Russian).
28. Zhou M., Zhu W., Sun X., Huang L. Internet addiction and child physical and mental health: Evidence from panel dataset in China. *J. Affect. Disord.*, 2022, vol. 309, pp. 52–62. DOI: 10.1016/j.jad.2022.04.115
29. Huang C. A meta-analysis of the problematic social media use and mental health. *Int. J. Soc. Psychiatry*, 2022, vol. 68, no. 1, pp. 12–33. DOI: 10.1177/0020764020978434
30. Wartberg L., Thomasius R., Paschke K. The relevance of emotion regulation, procrastination, and perceived stress for problematic social media use in a representative sample of children and adolescents. *Computers in Human Behavior*, 2021, vol. 121, pp. 106788. DOI: 10.1016/j.chb.2021.106788
31. Cataldo I., Lepri B., Neoh M.J.Y., Esposito G. Social Media Usage and Development of Psychiatric Disorders in Childhood and Adolescence: A Review. *Front. Psychiatry*, 2021, vol. 11, pp. 508595. DOI: 10.3389/fpsy.2020.508595
32. Chakhnashvili M.L., Ivanov D.V. Impact of digitalization on the health of children and adolescents. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii. Elektronnoe izdanie*, 2022, vol. 16, no. 3, pp. 56–66. DOI: 10.24412/2075-4094-2022-3-2-2 (in Russian).
33. Vodyakha C.A., Vodyakha Y.E. Psychological features of the image of parents of adolescents with Internet addiction. *Perspektivy nauki i obrazovaniya*, 2022, no. 2 (56), pp. 491–505. DOI: 10.32744/pse.2022.2.29 (in Russian).
34. Evert L., Potupchik T., Kostyuchenko Yu., Kondakova A., Vinokurova Ya. Recurrent pain syndromes in students with smartphone addiction and correction of associated functional disorders. *Vrach*, 2024, no. 6, pp. 61–68. DOI: 10.29296/25877305-2024-06-12 (in Russian).
35. Shubochkina E.I., Ivanov V.Yu., Cheprasov V.V., Azyyatova M.V. Hygienic Assessment of the Influence of Factors of Digital Environment on Adolescents in the Process of Educational and Leisure Activities. *ZNiSO*, 2021, no. 6 (339), pp. 71–77. DOI: 10.35627/2219-5238/2021-339-6-71-77 (in Russian).

Filkina O.M., Malysheva A.I., Kocherova O.Yu., Boboshko A.V., Vorobyeva E.A., Dolotova N.V. Risk factors for internet addiction and health consequences in 15-17-year-old adolescents. *Health Risk Analysis*, 2026, no. 1, pp. 86–94. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.08.eng

Получена: 01.10.2025

Одобрена: 29.01.2026

Принята к публикации: 26.03.2026

УДК 616.12-008: 616-057: 669 (470.54)
DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.09

Читать
онлайн



Научная статья

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РИСКА РАЗВИТИЯ КАРДИОМЕТАБОЛИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ У МЕТАЛЛУРГОВ

Е.Д. Константинова¹, В.Г. Газимова², С.Ю. Огородникова¹, Т.А. Маслакова¹,
Д.В. Чаурина², А.С. Шастин²

¹Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 620990, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 20

²Екатеринбургский медицинский – научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий, Российская Федерация, 620014, г. Екатеринбург, ул. Попова, 30

Рост распространенности метаболического синдрома обуславливает поиск простых, неинвазивных и бюджетных методов выявления лиц, входящих в группу риска его развития, позволяющих с минимальными издержками реализовать принципы превентивной и персонализированной медицины в управлении рисками развития кардиометаболических нарушений среди работающего населения.

В связи с этим построены прогностические математические модели риска развития кардиометаболических нарушений у металлургов. Оценены результаты периодических медицинских осмотров работников металлургического предприятия за 5 лет. Диагностика метаболического синдрома проведена в соответствии с критериями Международной федерации диабета. Рассчитан индекс округлости тела (BRI). Для проверки нормальности распределения исследуемых показателей был применен критерий Шапиро – Уилка. Критерии Стьюдента и Вилкоксона (с поправкой Бонферрони) для зависимых выборок использовались для определения статистической значимости различий средних величин и медиан. Для показателей, распределение которых на всех временных срезах соответствовало нормальному, был применен однофакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями (ANOVA). Для показателей с распределением, отличным от нормального, был применен критерий Фридмана. Подход, основанный на методе тепловых карт, был использован для визуализации корреляций между предикторами. Кокс-регрессия использована для выявления независимых предикторов развития артериальной гипертензии и метаболического синдрома. В качестве метода верификации принимался визуальный анализ графиков Log-Minus-Log (LML). Для оценки качества моделей построены ROC-кривые и рассчитана AUC.

Использование Кокс-регрессии с изменяющимися во времени ковариатами позволило учесть динамику изменений в состоянии здоровья работников. Анализ регрессии Кокса выявил, что уровень глюкозы натощак является наиболее сильным независимым предиктором развития метаболического синдрома за 5 лет наблюдения. Индекс BRI как предиктор развития метаболического синдрома продемонстрировал лучшие комплексные результаты по всем показателям, включая оптимальный баланс между чувствительностью и специфичностью, а также общей точностью. Сравнительный анализ ROC-кривых показал, что индекс BRI является наиболее точным инструментом для прогнозирования риска развития метаболического синдрома в исследуемой профессиональной группе. Полученные модели могут быть рекомендованы для формирования групп риска среди работников вредных производств с целью разработки и внедрения индивидуализированных программ медико-профилактических мероприятий, направленных на раннее выявление и коррекцию кардиометаболических нарушений.

Ключевые слова: антропометрические индексы, прогностическая модель, Кокс-регрессия, ROC-анализ, кардиометаболические нарушения, индекс округлости тела, персонализированная медицина, управление рисками.

© Константинова Е.Д., Газимова В.Г., Огородникова С.Ю., Маслакова Т.А., Чаурина Д.В., Шастин А.С., 2026

Константинова Екатерина Даниловна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией биостатистики (e-mail: K_Konst@ecko.uran.ru; тел.: 8 (343) 374-53-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2260-744X>).

Газимова Венера Габдрахмановна – доктор медицинских наук, заведующий отделом организации медицины труда (e-mail: venera@ymrc.ru; тел.: 8 (343) 312-84-86; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3591-3726>).

Огородникова Светлана Юрьевна – младший научный сотрудник лаборатории биостатистики (e-mail: ogor.svetlana@ecko.uran.ru; тел.: 8 (343) 374-53-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7193-3607>).

Маслакова Татьяна Анатольевна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории биостатистики (e-mail: masta@ecko.uran.ru; тел.: 8 (343) 374-53-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6642-9027>).

Чаурина Диана Васильевна – врач по гигиене труда отдела организации медицины труда (e-mail: chaurinadv@ymrc.ru; тел.: 8 (343) 312-84-86; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2545-8169>).

Шастин Александр Сергеевич – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела организации медицины труда (e-mail: shastin.64@mail.ru; тел.: 8 (922) 038-27-99; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8363-5498>).

Свердловская область относится к числу наиболее крупных и экономически развитых российских регионов, для которых характерна сложная медико-демографическая ситуация. Отмечается высокая смертность населения в трудоспособном возрасте – в 2023 г. показатель составил 581,3 на 100 тыс. населения; низкая ожидаемая продолжительность жизни при рождении – 71,84 г. в сравнении с общероссийскими показателями (соответственно 500,7 и 73,41 г.)¹. Растет доля работников, занятых во вредных условиях труда, которая в 2023 г. составила 42,9 % (2004 г. – 36,2 %); в отдельных видах экономической деятельности показатель еще выше (обрабатывающее производство – 50,1 %)². При этом смертность на производстве в результате заболеваний превышает смертность от несчастных случаев, основной причиной которой являются болезни системы кровообращения (БСК) [1, 2]. В Свердловской области в 2025 г. в 96,2 % случаев смерть на производстве связана с болезнями органов кровообращения. Специалисты отмечают высокую степень патологической пораженности БСК работников металлургического производства [3, 4].

Одним из важнейших факторов риска развития БСК является метаболический синдром (МС), называемый эпидемией XXI в. [5]. МС – патологическое состояние, характеризующееся ожирением, инсулинорезистентностью, артериальной гипертензией, гиперлипидемией [6]. Распространенность МС среди взрослого населения мира очень высока и, согласно прогнозам, данный показатель продолжит расти [7, 8]. МС опасен своими последствиями – ростом распространенности сахарного диабета 2-го типа и сердечно-сосудистых заболеваний, – определяющими значительный экономический и социальный ущерб для государства.

Доказано существенное влияние условий труда на здоровье работающего населения, в том числе на развитие МС [9–11]. Специалисты отмечают высокую распространенность МС среди работающего населения [12–14].

Однако в текущих социально-экономических условиях особое внимание следует обратить не только на государственные гарантии и корпоративные программы работодателей, направленные на сохранение трудового долголетия работников, но и на поведение самого работника в части отношения к своему здоровью [15]. Работник часто не рассматривает свое здоровье как личную ответственность и

перекладывает возникающие риски для своего здоровья на работодателя и государство. Во многом причинами этого является недостаточная осведомленность работников о влиянии индивидуальных поведенческих факторов риска на здоровье и их недооценка. Внедряемые на предприятиях корпоративные программы, хоть и направлены на формирование осознанного отношения работников к своему здоровью, ориентированы на большие трудовые коллективы и носят общий рекомендательный характер. Оценка рисков здоровью, связанных с работой, ориентирована, как правило, на группы работников, находящихся в одинаковых условиях воздействия вредных производственных факторов. Учет индивидуальных особенностей проводится в основном в отношении пола, возраста и стажа [16].

Рост распространенности МС обуславливает поиск простых, неинвазивных и бюджетных методов выявления лиц, входящих в группу риска его развития, позволяющих с минимальными издержками реализовать принципы превентивной и персонализированной медицины в управлении рисками развития кардиометаболических нарушений³.

В основе МС лежат центральное ожирение и инсулинорезистентность [6]. Для скрининга метаболических нарушений используются простые антропометрические параметры — индекс массы тела (ИМТ), окружность талии (ОТ), отношение ОТ к окружности бедер. При этом ИМТ как показатель физического здоровья не передает компонентный состав тела – соотношение жировой и мышечной массы. ОТ лучше, чем ИМТ, отражает висцеральный или абдоминальный тип ожирения, но при этом определяет абдоминальное ожирение с точки зрения абсолютного размера талии, который увеличивается вместе с общим размером тела.

Исследования доказали, что именно тип распределения жировой ткани тесно связан с частотой развития артериальной гипертензии (АГ), сахарного диабета, атеросклероза и МС. Это привело к разработке новых антропометрических индексов, таких как BRI [17].

Цель исследования – построить прогностические математические модели риска развития кардиометаболических нарушений у металлургов.

Материалы и методы. Объектом исследования явились результаты периодических медицинских осмотров (ПМО) 530 работников – мужчин металлургического предприятия Свердловской области в возрасте от 21 до 66 лет ($44,0 \pm 9,3$ г. – по

¹ Ожидаемая продолжительность жизни при рождении [Электронный ресурс] // ЕМИСС: Единая межведомственная информационно-статистическая система. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31293> (дата обращения: 18.12.2025).

² Условия труда работников в организациях Свердловской области [Электронный ресурс] // Управление Федеральной службы государственной статистики по Свердловской области и Курганской области. – URL: <https://66.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Условия%20труда%20работников%202020-2024%20поправлен.pdf> (дата обращения: 25.12.2025).

³ Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий: Указ Президента Российской Федерации от 18.06.2024 г. № 529 [Электронный ресурс] // Президент России. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50755> (дата обращения: 20.12.2025).

состоянию на 2020 г.), занятых во вредных условиях труда (КУТ 3.1–3.4). ПМО проведены с 2020 по 2024 г. на базе ФБУН «Екатеринбургский медицинский – научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора (ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора).

Кумулятивная инцидентность рассчитывалась по формуле:

$$\text{Кумулятивная инцидентность (период)} = \frac{\text{Кол-во новых случаев заболеваний за период}}{\text{Кол-во лиц в популяции риска в начале исследования}} \cdot 100 \%. \quad (1)$$

Для изучения патологической пораженности АГ и МС были использованы лабораторные (уровень общего холестерина в крови, глюкозы в плазме натощак), инструментальные показатели (данные измерения артериального давления), объективные антропометрические данные (рост, вес, окружность талии) и данные анкетирования⁴.

Были использованы следующие критерии оценки⁵:

– избыточная масса тела (ИзбМТ) – по индексу массы тела (ИМТ) ≥ 25 –29,9 кг/м², ожирение по ИМТ ≥ 30 кг/м²;

– повышенный уровень артериального давления (АД) – систолическое артериальное давление (САД) ≥ 140 мм рт. ст., диастолическое артериальное давление (ДАД) ≥ 90 мм рт. ст.;

– нарушенная гликемия натощак – по уровню глюкозы плазмы натощак $\geq 6,1$ ммоль/л;

– гиперхолестеринемия – по уровню общего холестерина крови $> 4,9$ ммоль/л;

– окружность талии как показатель абдоминального отложения жира – принята у мужчин ≥ 94 см [7];

BRI был рассчитан по формуле

$$BRI = 364,2 - 365,5 \cdot \sqrt{1 - \frac{\left(\frac{WC}{2\pi}\right)^2}{(0,5 \cdot H)^2}}, \quad (2)$$

где WC – окружность талии, H – рост.

Диагностика МС проведена в соответствии с критериями Международной федерации диабета (IDF)⁶. Согласно данным критериям, диагноз МС может быть поставлен при наличии абдоминального ожирения в сочетании с любыми двумя факторами риска из нижеприведенных:

– триглицериды $\geq 1,7$ ммоль/л;
– холестерин ЛПВП $< 1,03$ ммоль/л;
– артериальное давление ≥ 130 и ≥ 85 мм рт. ст. или наличие диагностированной АГ;

– уровень глюкозы в крови натощак у участников $\geq 5,6$ ммоль/л или наличие диагностированного сахарного диабета.

Данные детерминанты включают комбинацию категориальных и пограничных факторов риска, которые легко измерить в клинической практике.

Для всех количественных показателей на каждом временном срезе (2020–2024) была проведена проверка нормальности распределения с использованием критерия Шапиро – Уилка. Для показателей, распределение которых на всех временных срезах соответствовало нормальному, был применен однофакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями (ANOVA). Для показателей с распределением, отличным от нормального, был применен критерий Фридмана. Для определения того, между какими именно годами наблюдений имеются статистически значимые различия, был проведен post-hoc-анализ.

Для определения статистической значимости различий средних величин и медиан использовались критерии Стьюдента и Вилкоксона (для зависимых выборок с поправкой Бонферрони).

Подход, основанный на методе тепловых карт, был использован для визуализации корреляций между предикторами [18], Кокс-регрессия – для выявления независимых предикторов развития АГ и МС. Проверка допущения о пропорциональности рисков была проведена при помощи визуального анализа графиков Log-Minus-Log (LML).

Для оценки качества моделей были построены ROC-кривые и рассчитана AUC.

Проведение исследования согласовано локальным этическим комитетом ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора (заключение № 6 от 11.12.2023).

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных статистических программ Statistica 10 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA); корреляционная матрица реализована в пакете R. Статистическая значимость различий оценивалась на уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Результаты и их обсуждение. В табл. 1 представлены лабораторные, инструментальные, антропометрические и клинические характеристики работников по годам наблюдения.

⁴ Организация проведения диспансеризации определенных групп взрослого населения (4-е издание с дополнениями и уточнениями): Методические рекомендации / утв. Минздравом РФ 27.12.2017 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/71883416/?ysclid=m4v1tlpghp221204388> (дата обращения: 11.11.2025).

⁵ Диагностика и коррекция нарушений липидного обмена с целью профилактики и лечения атеросклероза. Российские рекомендации, VII пересмотр [Электронный ресурс] / В.В. Кухарчук, М.В. Ежов, И.В. Сергиенко, Г.Г. Арабидзе, М.Г. Бубнова, Т.В. Балахонова, В.С. Гуревич, М.А. Качковский [и др.] // Атеросклероз и Дислипидемии. – 2020. – № 1 (38). – С. 7–40. – URL: <https://jad.noaterra.ru/index.php/jad/article/view/274> (дата обращения: 04.12.2025).

⁶ The IDF consensus worldwide definition of the metabolic syndrome [Электронный ресурс] // IDF Communications. – 2006. – 24 p. – URL: <https://idf.org/media/uploads/2023/05/attachments-30.pdf> (дата обращения: 23.12.2025).

Таблица 1

Лабораторные, инструментальные, антропометрические и клинические характеристики работников за 2020–2024 гг.

Параметр	Год наблюдения					p-значение
	2020	2021	2022	2023	2024	
	$\bar{X} \pm SD$					
Возраст, лет	42,4 ± 9,3	43,4 ± 9,3	44,4 ± 9,3	45,4 ± 9,3	46,4 ± 9,3	
ИМТ, кг/м ²	27,0 ± 4,2 ²³⁴	27,1 ± 4,1 ²³⁴	27,3 ± 4,3 ⁴	27,3 ± 4,2 ⁴	27,6 ± 4,4	< 0,0001
Окружность талии, см	93,5 ± 11,5 ¹²³⁴	92,7 ± 11,5 ²³⁴	95,0 ± 11,8 ⁴	94,5 ± 12,5 ⁴	97,1 ± 11,9	< 0,0001
САД, мм рт. ст.	135,0 ± 14,6 ¹	137,0 ± 15,8 ²³	134,1 ± 15,0	134,1 ± 15,1	135,2 ± 16,0	0,0003
ДАД, мм рт. ст.	86,1 ± 10,3	86,2 ± 10,5	86,9 ± 9,7	86,9 ± 10,2	87,3 ± 10,9	0,0825
	Медиана [P25–P75]					
Глюкоза в крови, ммоль/л	5,9 [5,6–6,3] ¹²³⁴	6,1 [5,7–6,5] ²³⁴	5,6 [5,1–6,1] ⁴	5,6 [5,3–6,0] ⁴	6,2 [5,8–6,7]	< 0,0001
Холестерин в крови, ммоль/л	5,1 [4,4–5,8] ¹²³⁴	5,2 [4,6–5,9] ³⁴	5,3 [4,5–6,0] ³⁴	5,3 [4,7–6,1] ⁴	5,7 [4,9–6,5]	< 0,0001
BRI, отн. ед.	3,9 [3,2–4,7] ²³⁴	3,8 [3,0–4,6] ²³⁴	3,9 [3,3–4,9] ⁴	3,9 [3,2–4,9] ⁴	4,2 [3,5–5,1]	< 0,0001

Примечание: ¹ – обнаружены статистически значимые различия исследуемых показателей по сравнению с 2021 г.; ² – обнаружены статистически значимые различия исследуемых показателей по сравнению с 2022 г.; ³ – обнаружены статистически значимые различия исследуемых показателей по сравнению с 2023 г.; ⁴ – обнаружены статистически значимые различия исследуемых показателей по сравнению с 2024 г.

В целом наблюдается общая тенденция – большая часть показателей увеличивается год от года. Статистически значимое увеличение продемонстрировали все параметры, за исключением АД, что, вероятно, связано с коррекцией артериального давления гипотензивными препаратами в соответствии с медицинскими рекомендациями по результатам ПМО.

Несмотря на имеющиеся медицинские рекомендации по результатам ПМО, за исследуемый период частота выявления МС и АГ у рабочих увеличились в 3,3 и 2,7 раза соответственно, что доказывает необходимость системного подхода к организации медико-профилактических мероприятий среди работников (рис. 1).

Помимо патологической пораженности МС и АГ, для данных показателей была рассчитана кумулятивная инцидентность на период исследования:

$$\text{Кумулятивная инцидентность АГ (5 лет)} = \frac{52 + 36 + 49 + 30}{530 - 98} \cdot 100\% = \frac{167}{432} \cdot 100\% = 38,7\% \quad (3)$$

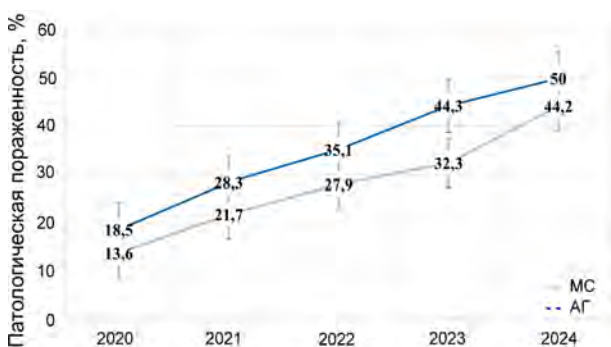


Рис. 1. Динамика патологической пораженности МС и АГ по годам исследования

Из 432 человек, не имевших АГ на старте исследования, у 167 развилась АГ, что составило 38,7 %.

$$\text{Кумулятивная инцидентность МС (5 лет)} = \frac{43 + 33 + 23 + 63}{530 - 72} \cdot 100\% = \frac{162}{458} \cdot 100\% = 35,4\% \quad (4)$$

Для МС кумулятивная инцидентность составила 35,4 %. Это означает, что у 35,4 % человек из исследуемой когорты МС развился в течение 5 лет наблюдения.

Для оценки вероятности развития МС и АГ были построены прогностические модели на основе регрессии Кокса с несколькими предикторами. Для исключения проблемы мультиколлинеарности был выполнен корреляционный анализ предикторов с визуализацией результатов посредством тепловых карт (рис. 2).



Рис. 2. Корреляционная матрица предикторов

Выявлена высокая степень корреляции (r от 0,7 до 0,8) между традиционными и новыми антропометрическими индексами.

Перед построением регрессионной модели пропорциональных рисков Кокса проведена проверка допущения о пропорциональности рисков для модели пропорциональных рисков Кокса с помощью визуального анализа графиков Log-Minus-Log. Визуальный анализ графиков, построенных для каждой ковариаты, включенной в итоговую модель, показал, что кривые всех независимых переменных для разных категорий зависимых переменных (АГ и МС) были параллельны друг другу и не пересекались. Это свидетельствует о выполнении допущения о пропорциональности рисков для всех анализируемых предикторов.

Использование Кокс-регрессии с изменяющимися во времени ковариатами позволило учесть динамику изменений в состоянии здоровья работников. Во избежание мультиколлинеарности, обусловленной высокой корреляцией между антропометрическими предикторами ОТ, ИМТ и BRI, были разработаны отдельные аналитические модели.

Например, модель № 1 для оценки риска МС включает в качестве антропометрического предиктора исключительно ИМТ, наряду с уровнем глюкозы и холестерина в сыворотке крови, повышенным артериальным давлением (или установленным диагнозом АГ) и злоупотреблением алкоголем. В модели № 2 в качестве антропометрического предиктора используется только BRI, в то время как остальные (неантропометрические) предикторы остаются идентичными: уровень глюкозы, холестерина в сыворотке крови и повышенное АД (или диагностированная АГ) (табл. 2).

Анализ регрессии Кокса (модель № 2 для МС) выявил, что уровень глюкозы натощак является наиболее сильным независимым предиктором развития метаболического синдрома за 5 лет наблюдения (HR = 2,33; 95 % ДИ: 1,68–3,23; $p < 0,001$). В предметном смысле это означает, что при прочих равных условиях работники с повышенным уровнем глюкозы натощак имеют риск развития МС в 2,33 раза выше (или на 133 % выше), чем работники с нормальным уровнем глюкозы. Согласно результатам многофакторного анализа регрессии Кокса, каждый однократный прирост индекса BRI был ассоциирован с увеличением вероятности развития синдрома на 44 % (HR = 1,44; 95 % ДИ: 1,32–1,57; $p < 0,001$). Значимыми предикторами также оказались уровень холестерина (HR = 2,04; 95 % ДИ: 1,52–2,75; $p < 0,001$) и наличие повышенного АД (HR = 1,48; 95 % ДИ: 1,09–1,98; $p = 0,010$). Трактую аналогично вышеизложенному: при прочих равных условиях работники с повышенным уровнем холестерина имеют риск развития МС в 2,04 раза выше (или на 104 % выше), чем работники с нормальным уровнем холестерина. Наличие повышенного АД (или диагностированной ранее АГ) повышает риск развития МС на 48 %.

По результатам анализа модели № 1 для АГ выявлено, что каждое увеличение ИМТ на 1 кг/м² было связано с увеличением риска развития АГ на 6 %, а каждый из повышенных уровней глюкозы и холестерина добавлял по 28 % к риску развития МС (по сравнению с нормальными уровнями). В модели пропорциональных рисков Кокса HR показывает, как изменение предиктора влияет на скорость наступления события в будущем, в данном случае развития АГ. При HR > 1 рост предиктора увеличивает риск развития АГ. Однако в проведенном исследовании наблюдается обратная зависимость (HR < 1),

Таблица 2

Результаты многофакторного Кокс-регрессионного анализа

Отклик	Модель	Предиктор	HR [CI]	p-значение
МС	№ 1	Глюкоза норма (да/нет)	2,29 [1,18–3,18]	< 0,001
		Холестерин норма (да/нет)	2,20 [1,16–2,97]	< 0,001
		Повышенное АД (да/нет)	1,44 [1,16–1,93]	= 0,015
		Алкоголь (да/нет)	1,39 [1,17–1,91]	= 0,037
		ИМТ, кг/м ²	1,15 [1,01–1,18]	< 0,001
	№ 2	Глюкоза норма (да/нет)	2,33 [1,68–3,23]	< 0,001
		Холестерин норма (да/нет)	2,04 [1,52–2,75]	< 0,001
		Повышенное АД (да/нет)	1,48 [1,09–1,98]	= 0,010
	BRI, отн. ед.	1,44 [1,32–1,57]	< 0,001	
АГ	№ 1	Глюкоза норма (да/нет)	1,28 [1,03–1,65]	= 0,047
		ИМТ, кг/м ²	1,06 [1,03–1,09]	< 0,001
		Холестерин норма (да/нет)	1,28 [1,03–1,63]	= 0,047
		Алкоголь (да/нет)	0,69 [0,54–0,89]	= 0,006
		Повышенное АД (да/нет) *	0,24 [0,17–0,36]	< 0,001
	№ 2	Холестерин норма (да/нет)	1,32 [1,04–1,70]	= 0,032
		ОТ, см	1,02 [1,03–1,07]	= 0,008
		Алкоголь (да/нет)	0,68 [0,52–0,88]	= 0,003
		Повышенное АД (да/нет) *	0,23 [0,16–0,33]	< 0,001

Примечание: * – наличие повышенного АД как предиктор в моделях для АГ указывает на состояние на предыдущих этапах наблюдения.

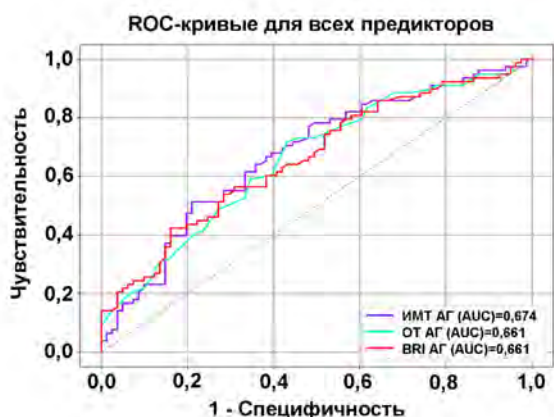


Рис. 3. ROC-кривые исследуемых предикторов (ИМТ, ОТ, BRI) для АГ

Таблица 3

Прогностические характеристики антропометрических индексов для АГ

Предиктор	Площадь под кривой (AUC)	Чувствительность	Специфичность	Точность
ОТ	0,661	0,718	0,568	0,615
ИМТ	0,674	0,667	0,605	0,619
BRI	0,661	0,615	0,580	0,585

что указывает на сильный эффект скрытого фактора, в данном случае – коррекцию гипотензивными препаратами в соответствии с медицинскими рекомендациями по результатам ПМО. При этом те показатели, которые не корректируются или отражают истинную метаболическую дисфункцию (ИМТ, глюкоза, холестерин), показывают ожидаемый рост риска ($HR > 1$). Таким образом, значения $HR = 0,23$ и $HR = 0,24$ для АД в моделях Кокса для развития АГ напрямую связаны с медикаментозной коррекцией АД у части обследованных работников.

С целью сравнения прогностических способностей различных моделей развития АГ и МС был проведен анализ ROC-кривых всех исследуемых предикторов (рис. 3, 4, табл. 3, 4). При интерпретации ROC-кривых для МС (см. рис. 4) важно подчеркнуть, что данный анализ направлен не на подтверждение связи ожирения и МС, а на сравнительную оценку эффективности (чувствительности и специфичности) различных антропометрических индексов (ИМТ и BRI) как скрининговых инструментов при проведении ПМО.

Наибольшее значение площади под кривой (AUC) установлено для ИМТ, что говорит о его высокой прогностической способности в отношении развития АГ.

Наибольшее значение площади под кривой (AUC) установлено для BRI, что говорит о его высокой прогностической способности в отношении развития МС.

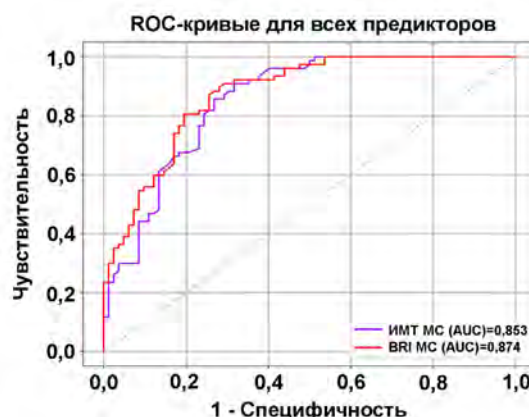


Рис. 4. Сравнительные ROC-кривые антропометрических индексов (ИМТ, BRI) как скрининговых тестов для выявления риска МС

Таблица 4

Прогностические характеристики антропометрических индексов для МС

Предиктор	Площадь под кривой (AUC)	Чувствительность	Специфичность	Точность
ИМТ	0,853	0,818	0,732	0,741
BRI	0,874	0,818	0,756	0,759

Проведенное проспективное исследование на когорте работников металлургического предприятия продемонстрировало высокую кумулятивную инцидентность АГ и МС (38,7 и 35,4 % за 5 лет соответственно), что подтверждает актуальность поиска эффективных инструментов для раннего выявления кардиометаболических нарушений в условиях вредного производства. Полученные данные легли в основу построения прогностических моделей с использованием регрессии Кокса, позволивших оценить вклад различных факторов в развитие этих состояний.

Одной из задач исследования являлась апробация и оценка информативности индекса округлости тела (BRI) как предиктора кардиометаболических нарушений, поскольку результаты с применением этого индекса недостаточно представлены в современной отечественной литературе. Выполненный сравнительный анализ ROC-кривых подтвердил высокую прогностическую способность BRI в отношении развития МС (AUC = 0,874), что превосходит показатели традиционных индексов ИМТ и ОТ. Индекс BRI как предиктор развития МС продемонстрировал лучшие комплексные результаты, включая оптимальный баланс между чувствительностью и специфичностью. Это указывает, что BRI, отражающий не просто массу тела, а распределение жировой ткани [17], является более тонким инструментом для выявления работников с неблагоприятным метаболическим профилем.

Представленные ROC-кривые для МС (см. рис. 4) следует интерпретировать в контексте сравнительного скрининга. Несмотря на то что ожирение является компонентом МС, высокая площадь под кривой (AUC) для BRI подтверждает его значимость как более тонкого инструмента для выявления работников с неблагоприятным распределением жировой ткани, что чрезвычайно важно для формирования групп риска. Этот результат подтверждает целесообразность использования новых антропометрических индексов для более точной оценки рисков развития кардиометаболических нарушений. Полученные данные о высокой прогностической способности BRI как предиктора развития МС согласуются с результатами других исследований, в которых BRI демонстрировал превосходство над традиционными антропометрическими показателями в диагностике метаболических нарушений [19, 20]. Важно отметить, что в крупном проспективном когортном исследовании BRI являлся независимым предиктором общей и сердечно-сосудистой смертности с показателями HR, сопоставимыми по величине с полученными в нашей работе [21]. Это подтверждает, что BRI является не только эффективным скрининговым, но и перспективным прогностическим инструментом для оценки кардиометаболического риска.

Для прогнозирования АГ наибольшее значение AUC установлено для ИМТ (0,674), что говорит о его относительно более высокой прогностической способности в отношении данного исхода по сравнению с ОТ и BRI.

Различия в прогностической способности индекса округлости тела (BRI) в отношении АГ и МС имеют под собой четкое патофизиологическое обоснование. Как показано в основополагающей работе D.M. Thomas et al. [17], BRI был разработан для оценки распределения жировой ткани и доли висцерального жира. Именно висцеральное ожирение является ключевым звеном патогенеза МС, запуская каскад инсулинорезистентности, дислипидемии и воспаления. Поэтому прямая и сильная связь BRI с МС (AUC = 0,874), компонентом которого и является ожирение, абсолютно закономерна. BRI в данном случае выступает как интегральный маркер «метаболической дисфункции», которая лежит в основе синдрома. В отличие от МС, развитие АГ обусловлено гораздо более широким спектром факторов. Хотя висцеральное ожирение и является важным фактором риска АГ, ключевую роль в ее патогенезе играют дисфункция ренин-ангиотензин-альдостероновой системы, гиперактивность симпатической нервной системы, состояние сосудистой стенки (эндотелиальная дисфункция, жесткость), водно-солевой баланс. Эти механизмы лишь частично связаны с формой тела, которую оценивает BRI.

Как мы уже отмечали в обсуждении результатов регрессии Кокса (см. табл. 2), значительная часть работников с выявленными по результатам ПМО нарушениями получала гипотензивную тера-

пию по результатам ранее проведенных медосмотров. Факт приема гипотензивных препаратов «смазывает» истинную связь между антропометрическими показателями и манифестацией АГ, так как давление искусственно поддерживается в норме. BRI, будучи чисто антропометрическим индексом, не может учесть этот фактор, в отличие от комплексных моделей Кокса, где мы это скорректировали. Для МС медикаментозная коррекция одного из основных факторов риска (ОТ) не проводится, что делает связь с BRI более «чистой». Тем не менее полученные для АГ результаты BRI (AUC = 0,661) полностью согласуются с литературными данными. Например, в исследованиях, где BRI сравнивался с ИМТ и ОТ в отношении риска АГ, он редко демонстрировал драматическое превосходство, часто показывая сопоставимые или даже чуть более слабые результаты, особенно в кросс-секционных срезах [19–20]. ИМТ, в свою очередь, может лучше отражать общую нагрузку на сердечно-сосудистую систему, связанную с массой тела, что и объясняет его более высокий показатель AUC = 0,674 для АГ в нашем исследовании.

Таким образом, более скромные результаты BRI для АГ по сравнению с МС не являются недостатком индекса, а отражают его специфичность как маркера именно метаболического здоровья, а не универсального предиктора всех кардиоваскулярных событий.

Особый интерес представляют результаты многофакторного регрессионного анализа для АГ, где наряду с ожидаемым вкладом ИМТ, глюкозы и холестерина, были выявлены факторы, требующие отдельного обсуждения.

Во-первых, обращает на себя внимание протективная роль употребления алкоголя (HR = 0,69; $p = 0,006$), что, на первый взгляд, противоречит устоявшимся представлениям о его кардиотоксичности. Мы склонны объяснять этот феномен несколькими причинами. Это может быть как проявлением так называемого «парадокса здорового рабочего», когда умеренное употребление алкоголя ассоциировано с лучшим социальным положением и меньшим уровнем стресса, однако наше исследование не собирало детальных данных о характере потребления. С другой стороны, мы не можем исключить эффект «обратной причинности»: работники с уже диагностированной и контролируемой АГ, понимая риски, могли сознательно снизить потребление алкоголя к моменту включения в исследование, что и создало иллюзию защитного эффекта на старте наблюдения. Это подчеркивает ограниченность одномоментной оценки такого сложного поведенческого фактора и необходимость более глубокого изучения характера употребления алкоголя в будущих исследованиях.

Во-вторых, ключевой научной находкой, составляющей, на наш взгляд, элемент новизны работы, является разнонаправленное влияние медикаментозной коррекции на результаты анализа. Как и

ожидалось, повышенный уровень глюкозы и холестерина закономерно увеличивали риск развития АГ ($HR > 1$). Однако парадоксальное значение HR для повышенного АД на предыдущих этапах наблюдения (0,23 и 0,24) напрямую указывает на сильный искажающий эффект. Этот результат является не ошибкой модели, а отражением реальной клинической практики: работники, у которых на предыдущих медосмотрах было выявлено повышенное давление, получали медицинские рекомендации и, вероятно, начали гипотензивную терапию. Искусственное поддержание нормальных цифр АД на фоне приема препаратов «разрывает» прямую связь между антропометрическими показателями и манифестацией заболевания в наблюдаемый период. Это важный методологический аспект, демонстрирующий, что при построении прогностических моделей в реальных когортах необходимо учитывать не только факторы риска, но и последующие медицинские вмешательства. Использованная нами регрессионная модель Кокса с временными ковариатами позволила частично нивелировать этот эффект, но полностью исключить его влияние невозможно без данных о приверженности терапии.

Таким образом, именно комплексный анализ всех факторов, включая «протективный» алкоголь и искажающий эффект лечения, представляет собой научную новизну работы, демонстрируя сложность и многогранность процессов управления рисками на реальном производстве. Полученные модели могут стать основой для формирования групп риска и разработки персонализированных профилактических программ. Учитывая простоту выполнения и специфичность оценки BRI, предлагаем использовать данный предиктор при проведении массовых обязательных и профилактических медицинских осмотров как один из прогностических критериев развития МС.

Сильные стороны проведенного исследования, обеспечивающие высокую достоверность полученных данных, включают:

- проспективный дизайн;
- полное наблюдение (0 % выбывших);
- большой объем когорты (530 человек);

- четкие и стандартизированные критерии диагностики.

Ограничения исследования:

- специфичность когорты (работники одного металлургического предприятия);
- отсутствие данных о генетических факторах, параметрах питания, уровне физической активности или хронического стресса.

Выводы:

1. За пятилетний период наблюдения среди металлургов частота выявления МС и АГ у рабочих увеличилась в 3,3 и 2,7 раза соответственно. Кумулятивная инцидентность составила 35,4 % для МС и 38,7 % для АГ.

2. Построенные прогностические модели на основе многофакторного анализа Кокса обладают высокой предсказательной способностью. Независимыми предикторами развития МС явились повышенное АД, уровень глюкозы и холестерина в крови, а также индекс BRI.

3. Сравнительный анализ ROC-кривых показал, что индекс BRI ($AUC = 0,874$) является наиболее точным инструментом для прогнозирования риска развития МС в исследуемой профессиональной группе, превосходя по совокупности характеристик ИМТ и ОТ.

4. Полученные модели могут быть рекомендованы для формирования групп риска среди работников вредных производств с целью разработки и внедрения индивидуализированных программ медико-профилактических мероприятий, направленных на раннее выявление и коррекцию кардиометаболических нарушений.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках выполнения Отраслевой научно-исследовательской программы Роспотребнадзора на 2021–2025 гг. «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровью и повышения качества жизни населения России», а также за счет субсидий Минобрнауки РФ на выполнение научной темы FUMN-2024-0002.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Оганов Р.Г., Масленникова Г.Я. Демографические тенденции в Российской Федерации: вклад болезней системы кровообращения // *Международный журнал сердца и сосудистых заболеваний*. – 2012. – Т. 11, № 1. – С. 5–10. DOI: 10.15829/1728-8800-2012-1-5-10
2. Смертность от острых форм ишемической болезни сердца у мужчин и женщин в Российской Федерации в 2015 и 2019 годах / И.В. Самородская, М.Г. Бубнова, О.А. Акулова, И.Ф. Матвеева // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. – 2022. – Т. 21, № 6. – С. 3273. DOI: 10.15829/1728-8800-2022-3273
3. Воробьева А.А., Горбушина О.Ю., Лешкова И.В. Особенности лабораторных и функциональных проявлений сердечно-сосудистой патологии у работников, подвергающихся воздействию вредных производственных факторов (на примере титаномagneвского производства) // *Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях: материалы XV Всероссийской научно-практической online-конференции молодых ученых и специалистов с международным участием*. – Саратов, 2025. – С. 64–67.
4. Особенности факторов риска развития производственно-обусловленной патологии у работников металлургического производства / Е.М. Власова, Е.А. Полевая, М.М. Порошина, М.И. Тиунова, В.Б. Алексеев // *Медицина труда и промышленная экология*. – 2019. – Т. 59, № 11. – С. 926–930. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-11-926-930

5. The obesity transition: stages of the global epidemic / L.M. Jaacks, S. Vandevijvere, A. Pan, C.J. McGowan, C. Wallace, F. Imamura, D. Mozaffarian, B. Swinburn, M. Ezzati // *Lancet Diabetes Endocrinol.* – 2019. – Vol. 7, № 3. – P. 231–240. DOI: 10.1016/S2213-8587(19)30026-9
6. Dommermuth R., Ewing K. Metabolic syndrome: systems thinking in heart disease // *Prim. Care.* – 2018. – Vol. 45, № 1. – P. 109–129. DOI: 10.1016/j.pop.2017.10.003
7. Metabolic syndrome across Europe: different clusters of risk factors / A. Scuteri, S. Laurent, F. Cucca, J. Cockcroft, P. Guimaraes Cunha, L. Rodriguez Mañas, F.U. Mattace Raso, M. Lorenza Muiesan [et al.] // *Eur. J. Prev. Cardiol.* – 2015. – Vol. 22, № 4. – P. 486–491. DOI: 10.1177/2047487314525529
8. Saklayen M.G. The global epidemic of the metabolic syndrome // *Curr. Hypertens. Rep.* – 2018. – Vol. 20, № 2. – P. 12. DOI: 10.1007/s11906-018-0812-z
9. Дьякович О.А. Распространенность метаболического синдрома у работников различных профессиональных групп // *Медицина труда и промышленная экология.* – 2020. – Т. 60, № 10. – С. 674–680. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-10-674-680
10. Бакиров А.Б., Гимранова Г.Г. Приоритетные направления научных исследований в нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической промышленности // *Медицина труда и экология человека.* – 2016. – № 3. – С. 5–10.
11. Jeong H.-S. The relationship between workplace environment and metabolic syndrome // *Int. J. Occup. Environ. Med.* – 2018. – Vol. 9, № 4. – P. 176–183. DOI: 10.15171/ijom.2018.1346
12. Особенности структуры метаболического синдрома у работников нефтедобывающего предприятия / А.Е. Носов, Е.М. Власова, А.С. Байдина, О.Ю. Устинова // *Анализ риска здоровью.* – 2020. – № 2. – С. 63–71. DOI: 10.21668/health.risk/2020.2.07
13. Распространенность факторов риска метаболического синдрома у работников, занятых подземной добычей руды / Е.М. Власова, А.А. Воробьева, В.Б. Алексеев, Ю.А. Ивашова, А.Е. Носов // *Гигиена и санитария.* – 2020. – Т. 99, № 12. – С. 1418–1425. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1418-1425
14. Occupation and metabolic syndrome: is there correlation? A cross sectional study in different work activity occupations of German firefighters and office workers / M. Straub, P. Foshag, B. Przybylek, M. Horlitz, A. Lucia, F. Sanchis-Gomar, R. Leischik // *Diabetol. Metab. Syndr.* – 2016. – Vol. 8, № 1. – P. 57. DOI: 10.1186/s13098-016-0174-0
15. Шарыпова С.Ю., Корнилицына М.Д. Оценка населением рисков здоровью как фактор выбора стратегии самосохранительного поведения // *Анализ риска здоровью.* – 2025. – № 1. – С. 74–87. DOI: 10.21668/health.risk/2025.1.07
16. Концептуальные основы корпоративной интеллектуальной риск-ориентированной системы анализа, прогноза и профилактики профессиональных и производственно-обусловленных нарушений здоровья работников / Н.В. Зайцева, Д.А. Кирьянов, М.А. Землянова, Д.В. Горяев, О.Ю. Устинова, П.З. Шур // *Анализ риска здоровью.* – 2023. – № 4. – С. 19–32. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.02
17. Relationships between body roundness with body fat and visceral adipose tissue emerging from a new geometrical model / D.M. Thomas, C. Bredlau, A. Bosity-Westphal, M. Mueller, W. Shen, D. Gallagher, Y. Maeda, A. McDougall [et al.] // *Obesity (Silver Spring).* – 2013. – Vol. 21, № 11. – P. 2264–2271. DOI: 10.1002/oby.20408
18. Использование новых антропометрических индексов для выявления риска метаболического синдрома среди промышленных работников / Е.Д. Константинова, Т.А. Маслакова, С.Ю. Огородникова, П.В. Серебряков, В.Г. Газимова // *Профилактическая медицина – 2024: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием.* – СПб., 2024. – С. 101–107.
19. Feasibility of body roundness index for identifying a clustering of cardiometabolic abnormalities compared to BMI, waist circumference and other anthropometric indices: the China Health and Nutrition Survey, 2008 to 2009 / S. Tian, X. Zhang, Y. Xu, H. Dong // *Medicine (Baltimore).* – 2016. – Vol. 95, № 34. – P. e4642. DOI: 10.1097/MD.0000000000004642
20. Comparison of anthropometric indices for predicting the risk of metabolic syndrome in older adults / S. Khosravian, M.A. Bayani, S.R. Hosseini, A. Bijani, S. Mouodi, R. Ghadimi // *Rom. J. Intern. Med.* – 2021. – Vol. 59, № 1. – P. 43–49. DOI: 10.2478/rjim-2020-0026
21. Body roundness index and all-cause mortality among US adults / X. Zhang, N. Ma, Q. Lin, K. Chen, F. Zheng, J. Wu, X. Dong, W. Niu // *JAMA Netw. Open.* – 2024. – Vol. 7, № 6. – P. e2415051. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2024.15051

Опыт использования прогностических математических моделей риска развития кардиометаболических нарушений у металлургов / Е.Д. Константинова, В.Г. Газимова, С.Ю. Огородникова, Т.А. Маслакова, Д.В. Чаурина, А.С. Шастин // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 95–105. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.09



Research article

EXPERIENCE IN USING PREDICTIVE MATHEMATICAL MODELS FOR ASSESSING RISKS OF CARDIOMETABOLIC DISORDERS IN METALLURGISTS

**E.D. Konstantinova¹, V.G. Gazimova², S.Yu. Ogorodnikova¹, T.A. Maslakova¹,
D.V. Chaurina², A.S. Shastin²**

¹Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Sofia Kovalevskaya Str., Ekaterinburg, 620990, Russian Federation

²Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, 30 Popova Str., Ekaterinburg, 620014, Russian Federation

The increasing prevalence of metabolic syndrome is driving the search for simple, non-invasive, and cost-effective methods for identifying individuals at risk for its development that allow for the implementation of preventive and personalized medicine principles in managing the risk of cardiometabolic disorders among the working population at minimal cost.

The aim of the study is to develop risk predictive models for cardiometabolic disorders in metallurgists.

The study focused on the results of periodic medical examinations of workers at a metallurgical plant over the previous five years. Metabolic syndrome was diagnosed in compliance with the criteria of the International Diabetes Federation. The body roundness index (BRI) was calculated. The Shapiro-Wilk test was used to assess the normality of the distribution of the studied parameters. Either the paired Student's t-test or the Wilcoxon signed-rank test (with Bonferroni correction) was applied to determine the statistical significance of differences between means and medians for dependent samples. One-way repeated measures analysis of variance (ANOVA) was used for parameters with a normal distribution across all time point. The Friedman test was employed for parameters with non-normal distributions. A heatmap-based approach was used to visualize correlations between predictors while Cox regression was applied to identify independent predictors of hypertension and metabolic syndrome. The proportional hazards assumption was verified through the visual analysis of Log-Minus-Log (LML) plots. To assess the quality of the models, we constructed ROC curves and calculated the area under the curve (AUC).

Using Cox regression with time-varying covariates allowed us to account for the dynamics of changes in workers' health. Cox regression analysis revealed that the fasting blood glucose level was the strongest independent predictor of the metabolic syndrome over 5 years of observation. As a predictor of metabolic syndrome, BRI demonstrated the best results across all parameters, including an optimal balance between sensitivity and specificity, as well as overall accuracy. The ROC curve comparison showed that the body roundness index is the most accurate tool for predicting the risk of metabolic syndrome in the occupational group under study. The resulting models can be recommended for establishing risk groups among industrial workers exposed to occupational hazards for further development and implementation of personalized preventive medicine programs aimed at early detection and treatment of cardiometabolic disorders.

Keywords: anthropometric indices, predictive model, Cox regression, ROC analysis, cardiometabolic disorders, body roundness index, personalized medicine, risk management.

References

1. Oganov R.G., Maslennikova G.Ya. Demographic trends in the Russian Federation: the impact of cardiovascular disease. *Mezhdunarodnyi zhurnal serdtsa i sosudistykh zabolevanii*, 2012, vol. 11, no. 1, pp. 5–10. DOI: 10.15829/1728-8800-2012-1-5-10 (in Russian).

© Konstantinova E.D., Gazimova V.G., Ogorodnikova S.Yu., Maslakova T.A., Chaurina D.V., Shastin A.S., 2026

Ekaterina D. Konstantinova – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Head of the Biostatistics Laboratory (e-mail: K_Konst@ecko.uran.ru; tel.: +7 (343) 374-53-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2260-744X>).

Venera G. Gazimova – Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Occupational Medicine Organization (e-mail: venera@ymrc.ru; tel.: +7 (343) 312-84-86; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3591-3726>).

Svetlana Yu. Ogorodnikova – Junior Researcher of Biostatistics Laboratory (e-mail: ogor.svetlana@ecko.uran.ru; tel.: +7 (343) 374-53-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7193-3607>).

Tatiana A. Maslakova – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher of Biostatistics Laboratory (e-mail: masta@ecko.uran.ru; tel.: +7 (343) 374-53-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6642-9027>).

Diana V. Chaurina – occupational hygienist at the Department of Occupational Medicine Organization (e-mail: chaurinadv@ymrc.ru; tel.: +7 (343) 312-84-86; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2545-8169>).

Aleksandr S. Shastin – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher of the Department of Occupational Medicine Organization (e-mail: shastin.64@mail.ru; tel.: +7 (922) 038-27-99; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8363-5498>).

2. Samorodskaya I.V., Bubnova M.G., Akulova O.A., Matveeva I.F. Mortality from acute types of coronary artery disease in men and women in Russia in 2015 and 2019. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, 2022, vol. 21, no. 6, pp. 3273. DOI: 10.15829/1728-8800-2022-3273 (in Russian).
3. Vorob'eva A.A., Gorbushina O.Yu., Leshkova I.V. Osobennosti laboratornykh i funktsional'nykh proyavlenii serdechno-sosudistoi patologii u rabotnikov, podvergayushchikhsya vozdйствию vrednykh proizvodstvennykh faktorov (na primere titanomagnievogo proizvodstva) [Features of laboratory and functional manifestations of cardiovascular pathology in workers exposed to harmful occupational factors (using titanium and magnesium production as an example)]. *Gigiena, ekologiya i riski zdorov'yu v sovremennykh usloviyakh: materialy XV vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi online konferentsii molodykh uchennykh i spetsialistov s mezhdunarodnym uchastiem*, Saratov, 2025, pp. 64–67 (in Russian).
4. Vlasova E.M., Polevaya E.A., Poroshina M.M., Tiunova M.I., Alekseev V.B. Features of risk factors of development of the production caused pathology at workers of metallurgical production. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 11, pp. 926–930. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-11-926-930 (in Russian).
5. Jaacks L.M., Vandevijvere S., Pan A., McGowan C.J., Wallace C., Imamura F., Mozaffarian D., Swinburn B., Ezzati M. The obesity transition: stages of the global epidemic. *Lancet Diabetes Endocrinol.*, 2019, vol. 7, no. 3, pp. 231–240. DOI: 10.1016/S2213-8587(19)30026-9
6. Dommermuth R., Ewing K. Metabolic syndrome: systems thinking in heart disease. *Prim. Care*, 2018, vol. 45, no. 1, pp. 109–129. DOI: 10.1016/j.pop.2017.10.003
7. Scuteri A., Laurent S., Cucca F., Cockcroft J., Guimaraes Cunha P., Rodriguez Mañas L., Mattace Raso F.U., Lorenza Muiesan M. [et al.]. Metabolic syndrome across Europe: different clusters of risk factors. *Eur. J. Prev. Cardiol.*, 2015, vol. 22, no. 4, pp. 486–491. DOI: 10.1177/2047487314525529
8. Saklayen M.G. The global epidemic of the metabolic syndrome. *Curr. Hypertens. Rep.*, 2018, vol. 20, no. 2, pp. 12. DOI: 10.1007/s11906-018-0812-z
9. Dyakovich O.A. Prevalence of metabolic syndrome in employees of various professional groups. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2020, vol. 60, no. 10, pp. 674–680. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-10-674-680 (in Russian).
10. Bakirov A.B., Gimranova G.G. Priority areas of science in extraction of oil, petroleum refining, petrochemical industry. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*, 2016, no. 3, pp. 5–10 (in Russian).
11. Jeong H.-S. The relationship between workplace environment and metabolic syndrome. *Int. J. Occup. Environ. Med.*, 2018, vol. 9, no. 4, pp. 176–183. DOI: 10.15171/ijoem.2018.1346
12. Nosov A.E., Vlasova E.M., Baidina A.S., Ustinova O.Yu. Structural peculiarities of metabolic syndrome in workers employed at oil extracting enterprise. *Health Risk Analysis*, 2020, no. 2, pp. 63–71. DOI: 10.21668/health.risk/2020.2.07.eng
13. Vlasova E.M., Vorobyova A.A., Alekseev V.B., Ivashova Yu.A., Nosov A.E. Analysis of the prevalence of metabolic syndrome risk factors and the option of their correction among workers in underground mining. *Gigiena i sanitariya*, 2020, vol. 99, no. 12, pp. 1418–1425. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1418-1425 (in Russian).
14. Straub M., Foshag P., Przybylek B., Horlitz M., Lucia A., Sanchis-Gomar F., Leischik R. Occupation and metabolic syndrome: is there correlation? A cross sectional study in different work activity occupations of German firefighters and office workers. *Diabetol. Metab. Syndr.*, 2016, vol. 8, no. 1, pp. 57. DOI: 10.1186/s13098-016-0174-0
15. Sharypova S.Yu., Kornilitsyna M.D. Assessment of health risks by working population as a factor in choosing a strategy for self-preservation. *Health Risk Analysis*, 2025, no. 1, pp. 74–87. DOI: 10.21668/health.risk/2025.1.07.eng
16. Zaitseva N.V., Kiryanov D.A., Zemlyanova M.A., Goryaev D.V., Ustinova O.Yu., Shur P.Z. Conceptual foundations of a corporate intelligent risk-based system for analysis, prediction and prevention of occupational and work-related health disorders of workers. *Health Risk Analysis*, 2023, no. 4, pp. 19–32. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.02.eng
17. Thomas D.M., Bredlau C., Bosy-Westphal A., Mueller M., Shen W., Gallagher D., Maeda Y., McDougall A. [et al.]. Relationships between body roundness with body fat and visceral adipose tissue emerging from a new geometrical model. *Obesity (Silver Spring)*, 2013, vol. 21, no. 11, pp. 2264–2271. DOI: 10.1002/oby.20408
18. Konstantinova E.D., Maslakova T.A., Ogorodnikova S.Yu., Serebryakov P.V., Gazimova V.G. Ispol'zovanie novykh antropometricheskikh indeksov dlya vyyavleniya riska metabolicheskogo sindroma sredi promyshlennykh rabotnikov [Using novel anthropometric indices for identifying metabolic syndrome risk in industrial workers]. *Profilakticheskaya meditsina – 2024: sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*, Saint Petersburg, 2024, pp. 101–107 (in Russian).
19. Tian S., Zhang X., Xu Y., Dong H. Feasibility of body roundness index for identifying a clustering of cardiometabolic abnormalities compared to BMI, waist circumference and other anthropometric indices: the China Health and Nutrition Survey, 2008 to 2009. *Medicine (Baltimore)*, 2016, vol. 95, no. 34, pp. e4642. DOI: 10.1097/MD.0000000000004642
20. Khosravian S., Bayani M.A., Hosseini S.R., Bijani A., Mouodi S., Ghadimi R. Comparison of anthropometric indices for predicting the risk of metabolic syndrome in older adults. *Rom. J. Intern. Med.*, 2021, vol. 59, no. 1, pp. 43–49. DOI: 10.2478/rjim-2020-0026
21. Zhang X., Ma N., Lin Q., Chen K., Zheng F., Wu J., Dong X., Niu W. Body roundness index and all-cause mortality among US adults. *JAMA Netw. Open*, 2024, vol. 7, no. 6, pp. e2415051. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2024.15051

Konstantinova E.D., Gazimova V.G., Ogorodnikova S.Yu., Maslakova T.A., Chaurina D.V., Shastin A.S. Experience in using predictive mathematical models for assessing risks of cardiometabolic disorders in metallurgists. *Health Risk Analysis*, 2026, no. 1, pp. 95–105. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.09.eng

Получена: 11.02.2026

Одобрена: 11.03.2026

Принята к публикации: 26.03.2026

Научная статья

ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ РИСК И ДОЗОВЫЕ ПОРОГИ С УЧЕТОМ ИХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДЛЯ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ

С.В. Осовец

Южно-Уральский федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики, Российская Федерация, 456780, г. Озерск, Озерское шоссе, 19

Осуществлена оценка дозовых порогов и их неопределенностей для острой лучевой болезни (ОЛБ) различной степени тяжести, а также вычислен относительный риск (ОР) перехода от предыдущей к более высокой степени тяжести ОЛБ. Объектом исследования стали 104 человека с ОЛБ, развившейся в результате ликвидации последствий радиационной аварии на Чернобыльской атомной электростанции в 1986 г., о которых в литературе есть доступные данные о степени тяжести ОЛБ и верифицированных дозах внешнего γ - β -излучения.

Эмпирические дозовые распределения по каждой группе с конкретной степенью тяжести ОЛБ были аппроксимированы функциями распределения на основе модели Вейбулла; дозовые пороги (D_0) и их неопределенности (U , %) были вычислены при рассмотрении попарно функции распределения для изучаемых групп; ОР перехода от предыдущей к более высокой степени тяжести ОЛБ рассчитаны с помощью четырехпольных таблиц. Результаты расчетов представлены в работе попарно в соответствии с группами степени тяжести ОЛБ: группы I–II ($D_0 = 1,95$ Гр; $U = 9,38$ %; $OP = 3,05$), группы II–III ($D_0 = 3,96$ Гр; $U = 4,63$ %; $OP = 5,93$), группы III–IV ($D_0 = 6,13$ Гр; $U = 6,81$ %; $OP = 8,82$).

Результаты имеют не только научное, но и практическое значение, так как позволяют точнее прогнозировать степень тяжести ОЛБ при наличии информации о полученных дозах внешнего облучения при радиационной аварии. В работе также предлагается на основании анализа полученных результатов в перспективе скорректировать регламентируемый диапазон доз для IV степени тяжести костномозгового синдрома ОЛБ.

Ключевые слова: острая лучевая болезнь, степень тяжести, дозовый порог, неопределенность, относительный риск, радиационная авария, Чернобыльская атомная электростанция, моделирование.

Сегодняшнее развитие атомной энергетики и технологий, связанных с переработкой и получением источников ионизирующего излучения, диктует особое отношение к проблемам радиационной безопасности и радиационной медицины. Несмотря на соблюдение норм радиационной безопасности и внедрение методов автоматизации и контроля на ядерных производствах и атомных станциях, крайне малая вероятность возникновения радиационных аварий, как показывает практика, все же не исключена [1–7]. В настоящее время также остается вполне реальной угрозой ядерного терроризма как в локальном, так и в глобальном масштабе. Результатом таких аварий и инцидентов может быть острая лучевая болезнь (ОЛБ). При костномозговой форме ОЛБ установлена не только пороговая доза, но и закономерное увеличение степени тяжести с увеличением дозы облучения¹ [8–10]. В ряде предыдущих наших исследований и публикаций подробно рассматривались методы оценки дозовых порогов и вычислений

их неопределенностей для заболеваемости и смертности от ОЛБ у работников производственного объединения «Маяк» [11–13].

В научной литературе представлен обширный и подробный материал по случаям ОЛБ, развившейся в результате ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) в 1986 г. [14–19].

Цель исследования – оценка дозовых порогов и их неопределенностей для ОЛБ различной степени тяжести для лиц, пострадавших в результате ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.

Материалы и методы. В настоящей работе использованы данные субкогорты, состоящей из 104 человек, пострадавших в результате радиационной аварии на ЧАЭС, включающие оценки доз внешнего γ - β -излучения и степени тяжести ОЛБ, опубликованные в двухтомном издании «Атласа по острой лучевой болезни человека» (часть I) [19]. Авторы данной публикации подчеркивают, что че-

© Осовец С.В., 2026

Осовец Сергей Васильевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: clinic@subi.su; тел.: 8 (351) 302-93-95; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6180-2061>).

¹ Гуськова А.К., Байсоголов Г.Д. Лучевая болезнь человека. – М.: Медицина, 1971. – 382 с.

рез некоторое время после поступления пострадавших в специализированный стационар клинической больницы № 6 г. Москвы была проведена верификация диагнозов с учетом всей медицинской информации (гематологических, биохимических, иммунологических, физиологических и других параметров наблюдений за пациентами). Помимо этого, В.Ю. Нугис с сотрудниками провели дополнительную верификацию доз облучения лиц, пострадавших в аварии, методом биологической дозиметрии [20]. По степеням тяжести ОЛБ 104 человека с верифицированными дозами распределились следующим образом: I степень – 25 человек, II степень – 42, III степень – 20 и IV степень – 17.

Для достижения поставленной в настоящем исследовании цели – оценки риска и дозовых порогов (с их неопределенностями) между различными степенями тяжести ОЛБ – требовалось последовательное выполнение следующих этапов: во-первых, аппроксимации эмпирических дозовых распределений по каждой группе с конкретной степенью тяжести ОЛБ функциями распределения на основе модели Вейбулла; во-вторых, рассматривая попарно функции распределения для изучаемых групп пострадавших, вычислить дозовые пороги; на третьем, заключительном этапе оценить неопределенности полученных дозовых порогов и рассчитать ОР перехода от предыдущей к более высокой степени тяжести ОЛБ.

Для аппроксимации эмпирических распределений доз по степени тяжести ОЛБ использовалась модель Вейбулла [11], которая имеет следующий вид:

$$F(D) = 1 - \exp \left[-\ln 2 \left(\frac{D}{D_{50}} \right)^V \right], \quad (1)$$

$$f(D) = \frac{V \ln 2 \left(\frac{D}{D_{50}} \right)^{V-1}}{D_{50}} \exp \left[-\ln 2 \left(\frac{D}{D_{50}} \right)^V \right], \quad (2)$$

где $F(D)$ – функция распределения;
 $f(D)$ – плотность распределения;
 D – поглощенная доза;
 V – параметр формы распределения;
 D_{50} – медианная доза (обобщенное выражение), которая представляет собой медианную эффективную дозу, если рассматриваются нелетальные тканевые эффекты, или медианную летальную дозу, если изучаются летальные эффекты.

Параметры данной модели (D_{50} и V) удобно оценивать методом наименьших квадратов, используя подраздел «Нелинейный регрессионный анализ»

пакета Statistica². В результате таких расчетов параметры распределения Вейбулла будут определены вместе со своими стандартными ошибками: $D_{50} \pm \Delta D_{50}$ и $V \pm \Delta V$.

Как было показано ранее [11], эффективный метод оценки дозовых порогов основан на использовании метода функций распределений для основной группы и группы сравнения, полученных на основе модели Вейбулла (формула (1)).

Пороговое значение дозы (D_0) находится из следующего нелинейного уравнения:

$$\exp \left[-\ln 2 \left(\frac{D_0}{D_{50}^{(2)}} \right)^{V^{(2)}} \right] + \exp \left[-\ln 2 \left(\frac{D_0}{D_{50}^{(1)}} \right)^{V^{(1)}} \right] - 1 = 0, \quad (3)$$

где верхний индекс ⁽¹⁾ относится к группе сравнения, а верхний индекс ⁽²⁾ – к основной группе.

Термин «*дозовый порог*» определяется в идеале как часть дозы облучения, при которой не наблюдается изучаемый эффект воздействия радиации на организм (хотя в действительности величина дозового порога всегда характеризуется в том числе и неопределенностью) [21, 22].

Для оценки среднеквадратичной ошибки дозового порога D_0 , вычисляемого из уравнения (3) итерационным методом Ньютона – Рафсона³, необходимо использовать неявно заданную функцию от четырех параметров:

$$F(D_{50}^{(1)}, V^{(1)}, D_{50}^{(2)}, V^{(2)}, D_0) = 0, \quad (4)$$

которая по аналитической форме совпадает с левой частью равенства (3), учитывая при этом, что $D = D_0$.

Для оценки неопределенности дозовых порогов, полученных методом функций распределений, обозначим левую часть уравнения (3) символом F :

$$F(D) = \exp \left[-\ln 2 \left(\frac{D_0}{D_{50}^{(2)}} \right)^{V^{(2)}} \right] + \exp \left[-\ln 2 \left(\frac{D_0}{D_{50}^{(1)}} \right)^{V^{(1)}} \right] - 1, \quad (5)$$

где пороговые значения $D = D_0$ и параметры распределения для основной группы ($D_{50}^{(2)}, V^{(2)}$) и группы сравнения ($D_{50}^{(1)}, V^{(1)}$) своими стандартными отклонениями известны. Тогда стандартное отклонение для дозового порога D_0 можно вычислить, используя формулу переноса ошибок⁴:

² Боровиков В. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

³ Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2011. – 632 с.

⁴ Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.

$$\sigma_{D_0} = \sqrt{\left(\frac{F_{D_{50}^{(1)}}}{F}\right)^2 \sigma_{D_{50}^{(1)}}^2 + \left(\frac{F_{V^{(1)}}}{F}\right)^2 \sigma_{V^{(1)}}^2 + \left(\frac{F_{D_{50}^{(2)}}}{F}\right)^2 \sigma_{D_{50}^{(2)}}^2 + \left(\frac{F_{V^{(2)}}}{F}\right)^2 \sigma_{V^{(2)}}^2}, \quad (6)$$

где $F_{D_{50}^{(1)}}$, $F_{V^{(1)}}$, $F_{D_{50}^{(2)}}$, $F_{V^{(2)}}$ – частные производные функции F по соответствующим параметрам:

$$F_{D_{50}^{(1)}} = \frac{D_0 V^{(1)} \ln 2 \left(\frac{D_0}{D_{50}^{(1)}}\right)^{V^{(1)}-1}}{\left(D_{50}^{(1)}\right)^2} \cdot \exp\left[-\ln 2 \left(\frac{D_0}{D_{50}^{(1)}}\right)^{V^{(1)}}\right], \quad (7)$$

$$F_{V^{(1)}} = -\ln 2 \left(\frac{D_0}{D_{50}^{(1)}}\right)^{V^{(1)}} \cdot \ln\left(\frac{D_0}{D_{50}^{(1)}}\right) \times \exp\left[-\ln 2 \left(\frac{D_0}{D_{50}^{(1)}}\right)^{V^{(1)}}\right], \quad (8)$$

$$F_{D_{50}^{(2)}} = \frac{D_0 V^{(2)} \ln 2 \left(\frac{D_0}{D_{50}^{(2)}}\right)^{V^{(2)}-1}}{\left(D_{50}^{(2)}\right)^2} \cdot \exp\left[-\ln 2 \left(\frac{D_0}{D_{50}^{(2)}}\right)^{V^{(2)}}\right], \quad (9)$$

$$F_{V^{(2)}} = -\ln 2 \left(\frac{D_0}{D_{50}^{(2)}}\right)^{V^{(2)}} \cdot \ln\left(\frac{D_0}{D_{50}^{(2)}}\right) \times \exp\left[-\ln 2 \left(\frac{D_0}{D_{50}^{(2)}}\right)^{V^{(2)}}\right]. \quad (10)$$

Относительная неопределенность дозового порога (U , %) будет тогда вычисляться по следующей формуле:

$$U = \frac{\sigma_{D_0}}{D_0}. \quad (11)$$

ОР от воздействия дозового фактора при переходе от предыдущей степени тяжести ОЛБ к последующей более высокой степени оценивался с помощью четырехпольных таблиц. Алгоритм такого расчета ОР для различных степеней тяжести ОЛБ на основе четырехпольных частотных таблиц в самом общем виде можно представить следующим образом. Пусть в качестве исходного статистического материала имеется четырехпольная таблица, содержащая частоты a и c для основной группы и частоты b и d для группы сравнения (табл. 1).

В табл. 1 D_0 – дозовый порог между степенями тяжести ОЛБ. Основная группа ($a + c$) включает индивидов с более высокой степенью тяжести ОЛБ, а группа сравнения ($b + d$) – с предыдущей, менее

высокой степенью тяжести ОЛБ. Сумма частот ($a + b$) – это объединенная группа, в которой индивиды получили дозы, превышающие пороговую ($D > D_0$), а сумма частот ($c + d$) – это объединенная группа, в которой индивиды получили дозы меньше пороговой ($D < D_0$). ОР в этом случае можно рассчитать по формуле:⁵

$$OP = \frac{a/(a+b)}{c/(c+d)}. \quad (12)$$

Т а б л и ц а 1

Распределение гипотетических частот основной группы и группы сравнения в зависимости от дозы облучения (D) сравнительно с пороговой дозой (D_0)

Доза облучения	Основная группа	Группа сравнения
$D > D_0$	a	b
$D < D_0$	c	d

Таким образом, величина ОР в нашем исследовании представляет собой отношение долей заболевших (коэффициентов заболеваемости) с высокой степенью тяжести ОЛБ для двух вышеуказанных объединенных групп. Следует также отметить, что величина ОР ограничена снизу: ОР = 1 (при $a = b = c = d$), но не ограничена сверху.

Результаты и их обсуждение. Прежде чем перейти к анализу полученных результатов и их обсуждению, необходимо напомнить следующие важные регламентирующие положения, связанные с ОЛБ [23]. Во-первых, в соответствии с общепринятой классификацией выделяют следующие формы ОЛБ с характерными дозовыми диапазонами:

1. Костномозговая форма формируется при дозах облучения от 1 до 10 Гр, в рамках которой в зависимости от дозы выделяют различные степени тяжести заболевания:

I – легкая степень, при дозах 1,0–2,0 Гр;

II – средняя степень, при дозах 2,1–4 Гр;

III – тяжелая степень, при дозах 4,1–6,0 Гр;

IV – крайне тяжелая степень, при дозах 6,1–10,0 Гр.

2. Кишечная форма формируется при дозах облучения 11–20 Гр (летальный исход на 8–10-е сут).

3. Токсемическая форма – при дозах облучения 21–50 Гр (летальный исход на 4–7-е сут).

4. Церебральная форма – при дозах облучения более 50 Гр (летальный исход на 1–3-е сут).

Во-вторых, верификация и оценка степени тяжести ОЛБ у лиц, пострадавших в результате радиационных аварий, проводится экспертами (специалистами в области радиационной медицины) в процессе тщательного анализа медицинских и лабораторных данных и с учетом полученных доз облучения.

⁵ Флетчер Р., Флетчер С., Вагнер Э. Клиническая эпидемиология. Основы доказательной медицины / пер. с англ. под общ. ред. С.Е. Башинского, С.Ю. Варшавского. – М.: Медиа Сфера, 1998. – 352 с.

Таблица 2

Статистические характеристики дозовых распределений для групп с ОЛБ, облученных с различной степенью тяжести

Статистические характеристики дозовых распределений	Группа I (25 человек)	Группа II (42 человека)	Группа III (20 человек)	Группа IV (17 человек)
Среднее, Гр	1,41	3,07	5,43	10,78
Стандартная ошибка, Гр	0,18	0,18	0,37	0,59
Стандартное отклонение, Гр	0,91	1,18	1,65	2,45
Медиана, Гр	1,20	3,00	5,45	10,50
Минимум–максимум, Гр	0,30–3,70	1,00–5,80	2,30–9,30	7,00–15,20

Примечание: номер группы и соответствующая степень тяжести ОЛБ обозначены одинаковыми римскими цифрами.

Таблица 3

Параметры модели Вейбулла для дозовых распределений в изучаемых группах лиц с ОЛБ различной степени тяжести

Группы	Параметры модели		Коэффициент детерминации R^2	Сумма квадратов отклонений S^2
	$D_{50} \pm \Delta D_{50}$, Гр	$V \pm \Delta V$		
Группа I	$1,197 \pm 0,023$ ($p < 10^{-5}$)	$1,802 \pm 0,101$ ($p < 10^{-5}$)	0,977	0,048
Группа II	$2,972 \pm 0,012$ ($p < 10^{-5}$)	$2,878 \pm 0,052$ ($p < 10^{-5}$)	0,996	0,015
Группа III	$5,311 \pm 0,056$ ($p < 10^{-5}$)	$3,762 \pm 0,229$ ($p < 10^{-5}$)	0,988	0,038
Группа IV	$10,542 \pm 0,073$ ($p < 10^{-5}$)	$4,565 \pm 0,214$ ($p < 10^{-5}$)	0,994	0,017

Примечание: S^2 – сумма квадратов отклонений эмпирических данных от расчетных; p – уровень значимости параметров модели Вейбулла.

В табл. 2 представлено описание дозовых распределений для четырех групп пострадавших в результате аварии на ЧАЭС с различной степенью тяжести ОЛБ [19]. Из данных табл. 2 видно, что группа I и II по статистическому объему суммарно почти в два раза больше, чем группа III и IV, а именно 67 и 37 человек соответственно. Как следствие, вариация полученных доз в первых двух группах меньше, чем в последующих двух группах, этот факт демонстрирует такой показатель, как величина стандартного отклонения. С другой стороны, во всех четырех группах такие показатели, как среднее и медиана, различаются незначительно, а минимальные и максимальные значения доз по степени тяжести ОЛБ везде выходят за пределы регламентированных выше дозовых диапазонов.

Такая ситуация с вариабельностью доз по степени тяжести ОЛБ вполне объяснима не только погрешностью измеренных и расчетных доз внешнего облучения, но и другими существенными моментами. Во-первых, при ретроспективном анализе пострадавших от ОЛБ специалисты (эксперты) в области радиационной медицины скрупулезно анализируют целый комплекс медицинских данных и лабораторных исследований по каждому человеку (время наступления первичной рвоты, время начала и разгара болезни, латентный период ОЛБ, время наступления агранулоцитоза, показатели крови, результаты иммунологического анализа и т.д.). Во-вторых, значитель-

ную роль также играет индивидуальная радиочувствительность и состояние иммунной системы больного. Вся эта информация и позволяет экспертам объективно решать вопрос об отнесении ОЛБ у пострадавшего в радиационной аварии человека к той или иной степени тяжести и принять адекватные меры лечения. Дозовые распределения ОЛБ по степени тяжести имеют особую ценность для последующего углубленного статистического анализа и математического моделирования.

В табл. 3 представлены результаты расчетов параметров по модели Вейбулла различных дозовых распределений, относящихся к группам с различной степенью тяжести ОЛБ.

Расчетные данные в табл. 3 показывают, что модель Вейбулла, несмотря на относительно небольшой объем исходного эмпирического материала, хорошо аппроксимирует дозовые распределения во всех четырех группах. Коэффициенты детерминации (R^2) варьируются в достаточно узком диапазоне от 0,977 до 0,996. Все модели в группах по степени тяжести ОЛБ были статистически значимы ($p < 0,05$) по F -критерию Фишера, а их параметры (D_{50} и V) имеют статистическую значимость ($p < 10^{-5}$) по t -критерию Стьюдента. Таким образом, необходимый базис для дальнейших расчетов дозовых порогов и их неопределенностей между группами пострадавших от радиационной аварии с ОЛБ различной степени тяжести полностью сформирован. В качестве примера

в виде графической иллюстрации на рисунке представлены рассчитанные плотности распределений для первой и второй степени тяжести ОЛБ (соответственно $f^{(1)}(D)$ и $f^{(2)}(D)$).

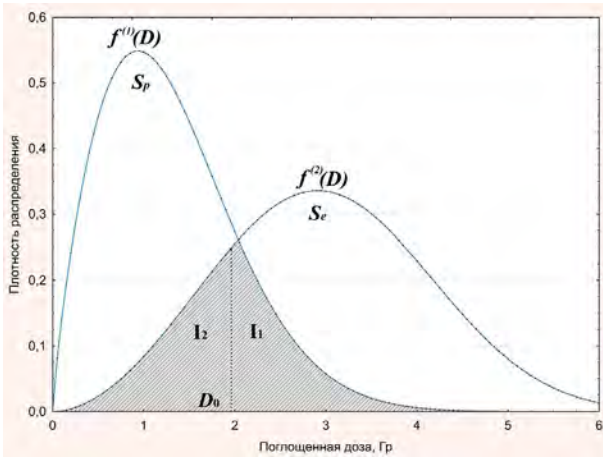


Рис. Плотности дозовых распределений для группы сравнения $f^{(1)}(D)$ и основной группы $f^{(2)}(D)$

Из рисунка видно, область перекрытия плотностей дозовых распределений для группы сравнения $f^{(1)}(D)$ и основной группы $f^{(2)}(D)$ довольно значительна и составляет величину порядка $\sim 19\%$ от суммарной площади двух распределений. Как было показано в наших предыдущих исследованиях [11–13], в качестве дозового порога (D_0) более точной и надежной величиной является не точка пересечения плотностей распределения для группы сравнения и основной группы, а медиана области перекрытия (см. рисунок, в этом случае площади $I_1 = I_2$ равны и соответственно чувствительность Se и специфичность Sp также совпадают по величине: $Se = Sp = x$). Величину D_0 можно рассчитать, решая итерационным методом следующее нелинейное уравнение:

$$\exp\left[-\ln 2 \left(\frac{D_0}{D_{50}^{(2)}}\right)^{V^{(2)}}\right] + \exp\left[-\ln 2 \left(\frac{D_0}{D_{50}^{(1)}}\right)^{V^{(1)}}\right] - 1 = 0, \quad (13)$$

где индекс (1) относится к группе сравнения, а верхний индекс (2) – к основной группе.

После нахождения D_0 , используя вышеприведенные формулы, можно оценить неопределенность дозового порога ($U, \%$). В табл. 4 представлены результаты расчетов.

Анализ результатов, представленных в табл. 4, показывает, что дозовые пороги между различными парными группами по степени тяжести ОЛБ, а также их неопределенность соответствуют регламентирующим требованиям и классификации костномозговой формы ОЛБ по степеням тяжести [23].

Следует также отметить, что дозовые границы порога D_0 , представленные в последнем столбце табл. 4, позволяют уточнить для участников аварии

на ЧАЭС степень тяжести ОЛБ. Например, в границы неопределенности дозового порога D_0 между I и II степенью тяжести ОЛБ (1,77–2,14 Гр) попадают 5 человек с I степенью тяжести и 4 человека со II; в дозовые границы порога между II и III степенью тяжести (3,78–4,14 Гр) – 4 человека со II степенью тяжести; в дозовые границы между III и IV степенью тяжести (5,71–6,66 Гр) – 2 человека с III степенью тяжести и 3 человека с IV степенью тяжести ОЛБ. Таким образом, из всего контингента пострадавших в радиационной аварии (104 человека) у 18 человек может быть уточнен прогноз степени тяжести ОЛБ.

Таблица 4

Дозовые пороги и их неопределенности между группами облученных с ОЛБ различной степени тяжести

Парные группы по степени тяжести	Межгрупповой дозовый порог D_0 , Гр	Относительная неопределенность $U, \%$	Дозовые границы порога D_0 , Гр
Группы I–II	1,95	9,38	1,77–2,14
Группы II–III	3,96	4,63	3,78–4,14
Группы III–IV	6,13	6,81	5,71–6,55

Важным моментом настоящего исследования является тот факт, что дозовые пороги между различными степенями тяжести ОЛБ (первый столбец табл. 4) являются медианными значениями области перекрытия (рисунок). Это предоставляет возможность расчета ОР при переходе от предшествующей степени тяжести ОЛБ к последующей более высокой степени тяжести с помощью четырехпольных таблиц. Для этого надо предварительно оценить чувствительность (Se) и специфичность (Sp) от воздействия дозового фактора при переходах I–II, II–III, и III–IV. Это можно рассчитать с помощью следующего нелинейного уравнения:

$$\exp\left[-\ln 2 \left(\frac{D_{50}^{(1)}}{D_{50}^{(2)}}\right)^{V^{(2)}} \left(-\frac{\ln(1-x)}{\ln 2}\right)^{\frac{V^{(2)}}{V^{(1)}}}\right] - x = 0, \quad (14)$$

где $Se = Sp = x$, а параметры модели Вейбулла $D_{50}^{(1)}, V^{(1)}, D_{50}^{(2)}, V^{(2)}$ относятся к группе сравнения и основной группе соответственно. Величина x находится методом итераций.

В результате для степени тяжести I–II получаем: $x = 0,813$ (81,3%), для II–III: $x = 0,795$ (79,5%), и для III–IV: $x = 0,886$ (88,6%). Далее, зная количество человек в каждой группе, распределенных по степени тяжести ОЛБ (см. табл. 2), можно составить необходимые четырехпольные таблицы для расчета оценок ОР (табл. 5–7).

В качестве примера вначале более подробно рассмотрим составление и расчет табл. 5, в которой

представлена оценка ОР для перехода ОЛБ от степени тяжести I к степени тяжести II. В основную группу II включены 42 человека (см. табл. 1), следовательно, умножая 42 на показатель чувствительности $Se = x = 0,813$, получаем $42 \cdot 0,813 \approx 34$ человека при $D > D_0$ и 8 человек при $D < D_0$. Аналогично, зная, что в группу сравнения I включены 25 человек, умножаем это число на показатель специфичности $Sp = x = 0,813$, получаем 20 ($D < D_0$) и 5 человек ($D > D_0$). В результате четырехпольная таблица сформирована (см. табл. 5), и по формуле (12) рассчитывается $OP = 3,05$. Далее, зная величину $x = 0,795$ для перехода степеней тяжести II–III и величину $x = 0,886$ для степеней тяжести III–IV, по аналогичной схеме составляются четырехпольные таблицы и оценивается ОР (табл. 6, 7).

Таблица 5

Оценка ОР перехода ОЛБ от степени тяжести I к степени тяжести II

Порог $D_0 = 1,95$ Гр	Основная группа II	Группа сравнения I	ОР
$D > D_0$	34	5	3,05
$D < D_0$	8	20	

Таблица 6

Оценка ОР перехода ОЛБ от степени тяжести II к степени тяжести III

Порог $D_0 = 3,96$ Гр	Основная группа III	Группа сравнения II	ОР
$D > D_0$	16	9	5,93
$D < D_0$	4	33	

Таблица 7

Оценка ОР перехода ОЛБ от степени тяжести III к степени тяжести IV

Порог $D_0 = 6,13$ Гр	Основная группа IV	Группа сравнения III	ОР
$D > D_0$	15	2	8,82
$D < D_0$	2	18	

Из четырехпольных табл. 5–7 и вычисленных по ним показателей ОР видно, что он существенно возрастает с увеличением дозы при парных переходах от предшествующей к последующей степени тяжести ОЛБ: I–II ($OP = 3,05$), II–III ($OP = 5,93$), III–IV ($OP = 8,82$). Такие оценки ОР для всех степеней тяжести ОЛБ у лиц, подвергшихся внешнему облучению в результате аварии на ЧАЭС (104 человека), выполнены впервые. В дальнейшем они могут быть использованы не только в научном, но и в практическом плане. Например, В.И. Тельнов с соавт. [24] недавно показали, что относительный риск снижения продолжительности жизни у работников ПО «Маяк» после острой лучевой болезни разной степени тяжести статистически значимо возрастает в объединенной группе с III–IV степенями тяжести ОЛБ, по сравнению с предыдущей объединенной

группой с I–II степенями тяжести ОЛБ. Объединение групп с различной степенью тяжести в этой работе было обусловлено сравнительно небольшим объемом исходных данных (58 человек). В настоящей работе объем пострадавших от острого аварийного облучения в Чернобыльской аварии составляет 104 человека, что в принципе позволяет провести в будущем аналогичное исследование более детально. Следующим существенным моментом настоящего исследования для данного контингента является тот факт, что в группе с IV степенью тяжести медианное значение дозы составляет $\sim 10,5$ Гр, а диапазон доз варьируется от 7 до 15,2 Гр (см. табл. 2), т.е. правая граница доз значительно превышает рекомендуемые дозовые границы 6–10 Гр [25]. С другой стороны, в недавних клинических рекомендациях А.С. Самойлова с соавт. [23], которые посвящены диагностике и лечению костномозговой формы ОЛБ, подчеркивается, что при превышении поглощенной дозы внешнего облучения 10 Гр и выше, до 13 Гр, еще возможно лечение больных с помощью пересадки донорского костного мозга, но при дальнейшем увеличении аварийной дозы смертельный исход неизбежен. Эти факты предоставляют нам возможность в дальнейших исследованиях скорректировать дозовый диапазон для IV степени тяжести ОЛБ, а также, используя разработанные методы оценки дозовых порогов с учетом их неопределенностей, найти более точный дозовый порог по смертности при остром внешнем облучении, приблизительная оценка которого составляет 6–8 Гр [12]. Такую по порядку величину дозового порога по смертности подтверждает и тот факт, что согласно 118 Публикации МКРЗ [10], после полученной дозы острого облучения 6 Гр к костномозговому синдрому ОЛБ присоединятся и кишечный синдром. К сожалению, доступные литературные источники, посвященные изучению степени тяжести костномозговой формы ОЛБ при внешнем аварийном облучении, немногочисленны. Интересным примером публикации в данном направлении является работа, выполненная сотрудниками Института радиобиологии вооруженных сил Германии на основе базы данных SEARCH (153 случая ОЛБ) [26], в которой была выявлена корреляционная связь между степенью тяжести ОЛБ и дозой внешнего облучения, полученной методом биологической дозиметрии, и предпринята попытка построения новых дозовых интервалов для степеней тяжести ОЛБ. Можно также указать и на недавний литературный обзор [27], посвященный биологическим маркерам ОЛБ, которые, вероятнее всего, также будут полезны для более точной идентификации степени тяжести ОЛБ.

Выводы. Таким образом, в настоящем исследовании методами математического моделирования и статистического анализа данных получены новые результаты по оценке ОР и дозовых порогов с неопределенностями для ОЛБ различных степеней тяжести, развившейся после внешнего облучения в ре-

зультате аварии на ЧАЭС (104 человека). Конкретные результаты расчетов представлены в работе попарно в соответствии с группами степени тяжести ОЛБ: группы I–II ($D_0 = 1,95$ Гр; $U = 9,38$ %; $OP = 3,05$), группы II–III ($D_0 = 3,96$ Гр; $U = 4,63$ %; $OP = 5,93$), группы III–IV ($D_0 = 6,13$ Гр; $U = 6,81$ %; $OP = 8,82$).

Показано, что полученные результаты расчетов дозовых порогов и их неопределенностей позволяют уточнить диагнозы и степень тяжести ОЛБ у 18 человек в исследуемой субкогорте пострадавших от Чернобыльской аварии. Расчеты относительного риска для степени тяжести ОЛБ в совокупности с оценками дозовых порогов, помимо количественного описания «тонкой структуры» ОЛБ, как показал

анализ имеющихся литературных данных, будут полезны для уточнения дозового диапазона IV степени тяжести ОЛБ и выявления взаимосвязи степеней тяжести с таким интегральным показателем, как снижение продолжительности жизни после острого аварийного облучения.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках Государственного контракта № 11.315.24.2 от 14 июня 2024 г. «Совершенствование медико-санитарного обеспечения аварийного реагирования при чрезвычайных радиационных ситуациях и радиационных авариях».

Конфликт интересов. Автор данной статьи сообщает об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. A Review of Criticality Accidents / T.P. McLaughlin, S.P. Monahan, N.L. Pruvost, V.V. Frolov, B.G. Ryazanov, V.I. Sviridov. – Los Alamos: Los Alamos National Laboratory, 2000. – 144 p.
2. Kruglov A. The History of the Soviet Atomic Industry. – London: CRC Press, 2002. – 288 p.
3. Acute radiation exposure and early hematopoietic response pattern: an evaluation of the Chernobyl accident victims / I. Friesecke, K. Beyer, D. Densow, T.M. Flidner, D. Belyi, O. Gergel, A. Kowalenko, V. Bebesheko, A. Baranov // *Int. J. Radiat. Med.* – 1999. – № 1. – P. 55–62.
4. Иванов В.К., Цыб А.Ф. Медицинские и радиобиологические последствия Чернобыля для населения России: оценка радиационных рисков. – М.: Медицина, 2002. – 392 с.
5. Polonium-210 as a poison / J. Harrison, R. Leggett, D. Lloyd, A. Phipps, B. Scott // *J. Radiol. Prot.* – 2007. – Vol. 27, № 1. – P. 17–40. DOI: 10.1088/0952-4746/27/1/001
6. Scott B.R. Health risk evaluation for ingestions exposure of humans to polonium-210 // *Dose Response.* – 2007. – Vol. 5, № 2. – P. 94–122. DOI: 10.2203/dose-response.06-013.Scott
7. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2013 Report Volume I. – New York: UNSCEAR, 2014. – 311 p.
8. Радиационная медицина: в 4 т. / под общ. ред. акад. РАМН Л.А. Ильина. – М.: ИздАТ, 2001. – Т. 2. Радиационные поражения человека. – 432 с.
9. Лушников Е.Ф., Абрисомов А.Ю. Современная лучевая патология человека: проблемы методологии исследований, этиологии, патогенеза и классификации. – Обнинск: ФГБУ МРНЦ Минздравсоцразвития России, 2012. – 236 с.
10. Публикация 118 МКРЗ. Отчет МКРЗ по тканевым реакциям, ранним и отдаленным эффектам в нормальных тканях и органах – пороговые дозы в контексте радиационной защиты / Ф.А. Стюарт, А.В. Аклеев, М. Хауэр-Дженсен, Д.Х. Хендри, Н.Д. Клеймен, Т.Д. Маквитти, Б.М. Эйлмен, А.Б. Эдгар [и др.]; под ред. А.В. Аклеева, М.Ф. Киселева; пер. с англ. Е.М. Жидковой, Н.С. Котовой. – Челябинск: Книга, 2012. – 384 с.
11. Осовец С.В., Азизова Т.В., Гергенрейдер С.Н. Методы оценки и расчета дозовых порогов для детерминированных эффектов // *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* – 2009. – Т. 54, № 2. – С. 25–31.
12. Assessment of risks and dose thresholds for some effects of acute exposure / S.V. Osovetovs, T.V. Azizova, R.D. Day, N. Wald, M.V. Druzhinina // *Health Phys.* – 2011. – Vol. 100, № 2. – P. 176–184. DOI: 10.1097/HP.0b013e3181ebd123
13. Осовец С.В., Азизова Т.В., Гергенрейдер С.Н. Методы оценки неопределенности дозовых порогов для детерминированных эффектов // *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* – 2010. – Т. 55, № 3. – С. 11–16.
14. IAEA. Follow-up of delayed health consequences of acute accidental radiation exposure. Lessons to be learned from their medical management [Электронный ресурс]. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2002. – 138 p. – URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1300_web.pdf (дата обращения: 09.09.2025).
15. Mettler F.A. Jr, Gus'kova A.K., Gusev I. Health effects in those with acute radiation sickness from the Chernobyl accident // *Health Phys.* – 2007. – Vol. 93, № 5. – P. 462–469. DOI: 10.1097/01.HP.0000278843.27969.74
16. Гуськова А.К. Медицинские последствия аварии на Чернобыльской АЭС. Основные итоги и нерешенные проблемы // *Атомная энергия.* – 2012. – Т. 113, вып. 2. – С. 109–116.
17. Медицинские последствия аварии на Чернобыльской АЭС / И.А. Галстян, Н.М. Надежина, Л.А. Суворова, О.Г. Каширина, В.Ю. Нугис // *Саратовский научно-медицинский журнал.* – 2015. – Т. 11, № 4. – С. 637–644.
18. Samoylov A.S., Bushmanov A.Yu., Galstyan I.A. Medical management: major lessons learned from the Chernobyl accident (the review) // *J. Radiol. Prot.* – 2021. – Vol. 41, № 3. DOI: 10.1088/1361-6498/ac14d4
19. Острая лучевая болезнь человека: атлас-монография. Часть I. Пострадавшие при радиационной аварии на ЧАЭС 1986 г. / под ред. А.С. Самойлова, В.Ю. Соловьева. – М.: ФГБУ ГНЦ им. Бурназяна ФМБА России, 2016. – 140 с.
20. Исследование прогностической ценности гематологических критериев оценки степени тяжести лучевого поражения [Электронный ресурс] / В.Ю. Соловьев, В.Ю. Нугис, Т.М. Хамидулин, В.И. Краснюк // *Медлайн.ру: медико-биологический информационный портал для специалистов.* – 2011. – Т. 12, ст. 35. – С. 420–430. – URL: <http://www.medline.ru/public/art/tom12/art35.html> (дата обращения: 09.09.2025).
21. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) / пер с англ.; под общ. ред. М.Ф. Киселёва, Н.К. Шандалы. – М.: Изд.-во ООО ПКФ «Алана», 2009. – 344 с.
22. Fry R.J. Deterministic effects // *Health Phys.* – 2001. – Vol. 80, № 4. – P. 338–343. DOI: 10.1097/00004032-200104000-00009
23. Рекомендации по диагностике и лечению костномозговой формы острой лучевой болезни / А.С. Самойлов, М.В. Кончаловский, А.Ю. Бушманов, И.А. Галстян, В.Ю. Нугис, А.А. Давтян, Л.Р. Колганова, Н.А. Метляева, Ф.С. Тобурбаров // *Гематология и трансфузиология.* – 2023. – Т. 68, № 1. – С. 98–128. DOI: 10.35754/0234-5730-2023-68-1-98-128

24. Продолжительность жизни у работников ПО «Маяк» после острой лучевой болезни разной степени тяжести / В.И. Тельнов, Т.В. Азизова, М.Б. Мосеева, М.В. Банникова // Радиационная гигиена. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 80–90. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-80-90

25. IAEA. Safety Reports Series No 101. Medical management of radiation injures. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2020. – 112 p.

26. Correlation of radiation dose estimates by DIC with the METREPOL hematological classes of disease severity / M. Port, B. Pieper, H.D. Dorr, A. Hubsch, M. Majewski, M. Abend // Radiat. Res. – 2018. – Vol. 189, № 5. – P. 449–455. DOI: 10.1667/RR14936.1

27. Singh V.K., Santiago P., Simas M., Garcia M., Fatanni O., Wise S.Y., Seed T. Acute radiation syndrome: an update on biomarkers for radiation injury // Journal of Radiation and Cancer Research. – 2018. – Vol. 9, № 4. – P. 132–146. DOI: 10.4103/jrcr.jrcr_26_18

Осовец С.В. Относительный риск и дозовые пороги с учетом их неопределенности для острой лучевой болезни различной степени тяжести // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 106–114. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.10

UDC 613.6.027

DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.10.eng



Research article

RELATIVE RISK AND DOSE THRESHOLDS WITH THEIR UNCERTAINTIES FOR DIFFERENT SEVERITY DEGREES OF ACUTE RADIATION SYNDROME

S.V. Osovets

Southern Urals Federal Scientific Clinical Center for Medical Biophysics of the Federal Medical Biological Agency, 19 Ozyorskoe shosse, Ozyorsk, 456780, Russian Federation

The aim of this study was to assess dose thresholds and their uncertainties for different severity degrees of acute radiation syndrome (ARS) and to establish relative risk (RR) of transition from preceding ARS severity degree to a higher one.

The study objects were represented by 104 individuals with ARS developed after Chernobyl disaster at the Chernobyl nuclear power plant in 1986 with literature available data on ARS severity degree and verified external γ - β -radiation doses.

Empirical dose distributions in each group of ARS severity degree were approximated by the distribution function based on Weibull model; dose thresholds (D_0) and their uncertainties (U , %) were calculated by pairwise examination of distribution functions for the study groups; RR of transition from preceding ARS severity degree to a higher one were calculated by using fourfold tables. The calculation results were presented in the paper in pairs in accordance with the ARS severity degrees: Groups I–II ($D_0 = 1.95$ Gy; $U = 9.38$ %; $RR = 3.05$), Groups II–III ($D_0 = 3.96$ Gy; $U = 4.63$ %; $RR = 5.93$), Groups III–IV ($D_0 = 6.13$ Gy; $U = 6.81$ %; $RR = 8.82$).

The study findings have not only scientific but also practical significance as they make it possible to predict ARS severity degrees more accurately if data are available on external radiation exposure doses after a radiation accident. It is also proposed to correct the regulated dose range for IV severity degree of bone marrow ARS syndrome based on these findings.

Keywords: acute radiation syndrome, severity degree, dose threshold, uncertainty, relative risk, radiation accident, Chernobyl nuclear power station, modeling.

References

1. McLaughlin T.P., Monahan S.P., Pruvost N.L., Frolov V.V., Ryazanov B.G., Sviridov V.I. A Review of Criticality Accidents. Los Alamos, Los Alamos National Laboratory Publ., 2000, 144 p.
2. Kruglov A. The History of the Soviet Atomic Industry. London, CRC Press, 2002, 288 p.
3. Friesecke I., Beyer K., Densow D., Flidner T.M., Belyi D., Gergel O., Kowalenko A., Bebesko V., Baranov A. Acute radiation exposure and early hematopoietic response pattern: an evaluation of the Chernobyl accident victims. *Int. J. Radiat. Med.*, 1999, no. 1, pp. 55–62.

© Osovets S.V., 2026

Sergey V. Osovets – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher (e-mail: clinic@subi.su; tel.: + 7 (351) 302-93-95; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6180-2061>).

4. Ivanov V.K., Tsyb A.F. Meditsinskie i radiobiologicheskie posledstviya Chernobylya dlya naseleniya Rossii: otsenka radiatsionnykh riskov [Medical and radiobiological consequences of the Chernobyl for Russia's population: radiation risk estimates]. Moscow, Meditsina, 2002, 392 p. (in Russian).
5. Harrison J., Leggett R., Lloyd D., Phipps A., Scott B. Polonium-210 as a poison. *J. Radiol. Prot.*, 2007, vol. 27, no. 1, pp. 17–40. DOI: 10.1088/0952-4746/27/1/001
6. Scott B.R. Health risk evaluation for ingestions exposure of humans to polonium-210. *Dose Response*, 2007, vol. 5, no. 2, pp. 94–122. DOI: 10.2203/dose-response.06-013.Scott
7. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2013 Report Volume I. New York, UNSCEAR, 2014, 311 p.
8. Radiatsionnaya meditsina [Radiation medicine]: in 4 volumes. In: L.A. Il'in ed. Moscow, IzdAT, 2001, vol. 2. Radiatsionnye porazheniya cheloveka [Radiation injuries in humans], 432 p. (in Russian).
9. Lushnikov E.F., Abrosimov A.Yu. Sovremennaya luchelevaya patologiya cheloveka: problemy metodologii issledovaniy, etiologii, patogenezha i klassifikatsii [Present-day radiation pathology in humans: problems of study methodology, etiology, pathogenesis and classification]. Obninsk, FGBU MRNTs Minzdravotsrazvitiya Rossii Publ., 2012, 236 p. (in Russian).
10. Stewart F.A., Akleyev A.V., Hauer-Jensen M., Hendry J.H., Kleiman N.J., MacVittie T.J., Aleman B.M., Edgar A.B. [et al.]. ICRP PUBLICATION 118: ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. In: A.V. Akleev, M.F. Kiselev eds.; E.M. Zhidkova, N.S. Kotova translation from English. Chelyabinsk, Kniga, 2012, 384 p. (in Russian).
11. Osovets S.V., Azizova T.V., Gergenreyder S.N. Methods of estimation of dose thresholds for deterministic effects. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'*, 2009, vol. 54, no. 2, pp. 25–31 (in Russian).
12. Osovets S.V., Azizova T.V., Day R.D., Wald N., Druzhinina M.B. Assessment of risk and dose thresholds for some effects of acute exposure. *Health Phys.*, 2011, vol. 100, no. 2, pp. 176–184. DOI: 10.1097/HP.0b013e3181ebd123
13. Osovets S.V., Azizova T.V., Gergenreider S.N. Methods of Uncertainty Assessment for Deterministic Effects Dose Thresholds. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'*, 2010, vol. 55, no. 3, pp. 11–16 (in Russian).
14. IAEA. Follow-up of delayed health consequences of acute accidental radiation exposure. Lessons to be learned from their medical management. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2002, 138 p. Available at: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1300_web.pdf (September 09, 2025).
15. Mettler F.A. Jr, Gus'kova A.K., Gusev I. Health effects in those with acute radiation sickness from the Chernobyl accident. *Health Phys.*, 2007, vol. 93, no. 5, pp. 462–469. DOI: 10.1097/01.HP.0000278843.27969.74
16. Gus'kova A.K. Meditsinskie posledstviya avarii na Chernobyl'skoi AES. Osnovnye itogi i nereshennye problemy [Health consequences of the Chernobyl nuclear power plant accident: Key findings and unresolved issues]. *Atomnaya energiya*, 2012, vol. 113, iss. 2, pp. 109–116 (in Russian).
17. Galstyan I.A., Nadejina N.M., Suvorova L.A., Kashirina O.G., Nugis V.Ju. Medical consequences of Chernobyl accident. *Saratovskii nauchno-meditsinskii zhurnal*, 2015, vol. 11, no. 4, pp. 637–644 (in Russian).
18. Samoylov A.S., Bushmanov A.Yu., Galstyan I.A. Medical management: major lessons learned from the Chernobyl accident (the review). *J. Radiol. Prot.*, 2021, vol. 41, no. 3. DOI: 10.1088/1361-6498/ac14d4
19. Ostraya luchelevaya bolezn' cheloveka: atlas-monografiya. Chast' I. Postradavshie pri radiatsionnoi avarii na ChAES 1986 g. [Acute radiation syndrome in humans. Atlas. Volume I. Victims of the radiation accident at the ChNPP in 1986]. In: A.S. Samoilova, V.Yu. Solov'eva eds. Moscow, FGBU GNTs im. Burnazyana FMBA Rossii Publ., 2016, 140 p. (in Russian).
20. Soloviev V.Yu., Nugis V.Yu., Khamidulin T.M., Krasnjuk V.I. Research of haematological criteria's prognostic value in radiation injuries severity assessment. *Medline.ru*, 2011, vol. 12, art. 35, pp. 420–430. Available at: <http://www.medline.ru/public/art/tom12/art35.html> (September 09, 2025) (in Russian).
21. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. In: translation from English; M.F. Kiselev, N.K. Shandala eds. Moscow, OOO PKF «Alana» Publ., 2009, 344 p. (in Russian).
22. Fry R.J. Deterministic effects. *Health Phys.*, 2001, vol. 80, no. 4, pp. 338–343. DOI: 10.1097/00004032-200104000-00009
23. Samoylov A.S., Konchalovsky M.V., Bushmanov A.Yu., Galstyan I.A., Nugis V.Yu., Davtyan A.A., Kolganova L.R., Metlyaeva N.A., Torubarov F.S. Recommendations for the diagnosis and treatment of bone marrow form of acute radiation syndrome. *Gematologiya i transfuziologiya*, 2023, vol. 68, no. 1, pp. 98–128. DOI: 10.35754/0234-5730-2023-68-1-98-128 (in Russian).
24. Telnov V.I., Azizova T.V., Moseeva M.B., Bannikova M.V. Lifetime of Mayak workers after acute radiation syndrome of various severity levels. *Radiatsionnaya gigiyena*, 2023, vol. 16, no. 1, pp. 80–90. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-80-90 (in Russian).
25. IAEA. Safety Reports Series No 101. Medical management of radiation injures. Vienna, International Atomic Energy Agency Publ., 2020, 112 p.
26. Port M., Pieper B., Dorr H.D., Hubsch A., Majewski M., Abend M. Correlation of radiation dose estimates by DIC with the METREPOL hematological classes of disease severity. *Radiat. Res.*, 2018, vol. 189, no. 5, pp. 449–455. DOI: 10.1667/RR14936.1
27. Singh V.K., Santiago P., Simas M., Garcia M., Fatanmi O., Wise S.Y., Seed T. Acute radiation syndrome: an update on biomarkers for radiation injury. *Journal of Radiation and Cancer Research*, 2018, vol. 9, no. 4, pp. 132–146. DOI: 10.4103/jrcr.jrcr_26_18

Osovets S.V. Relative risk and dose thresholds with their uncertainties for different severity degrees of acute radiation syndrome. Health Risk Analysis, 2026, no. 1, pp. 106–114. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.10.eng

Получена: 21.10.2025

Одобрена: 02.02.2026

Принята к публикации: 26.03.2026



Научная статья

ВЛИЯНИЕ ПОСТКОВИДНЫХ СИМПТОМОВ НА ЗДОРОВЬЕ И КАЧЕСТВО ЖИЗНИ: ПЕРЕКРЕСТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВО ВЬЕТНАМЕ

Хуэ Ву Тхи^{1,2}, Анх Дао Нго¹, Нхат-Ле Буи^{1,2}, Йен Ви Нгуен Тхи^{1,2}, Тхук Куен Нгуен^{1,2,3}, Хоанг Лам Нгуен¹, Тху Дуонг Ву¹, Динх-Той Чу^{1,2}

¹Центр биомедицины и общественного здоровья, Международная школа, Вьетнамский национальный университет, Вьетнам, г. Ханой

²Факультет прикладных наук, Международная школа, Вьетнамский национальный университет, Вьетнам, г. Ханой

³Центр науки, технологии, инновации и общества, Международная школа, Вьетнамский национальный университет, Вьетнам, г. Ханой

Описаны распространенность постковидных симптомов и их влияние на качество жизни населения Вьетнама.

Вторичный анализ был выполнен с использованием данных, собранных в процессе перекрестного исследования, проведенного во Вьетнаме в 2022 г. Из 972 участников исследования 76,75 % сообщили о том, что испытывали хотя бы один постковидный симптом. Расстройства дыхания, сердечной деятельности, а также неврологические симптомы упоминались чаще других. Возрастание числа постковидных симптомов связано с увеличением проблем качества жизни. Боль / дискомфорт и тревожность / депрессия были самыми распространенными проблемами с качеством жизни (35 и 24,5 % соответственно). Проблемы с качеством жизни были значимо связаны со всеми перечисленными постковидными симптомами, из которых наибольшее влияние оказывали депрессия и тревожность.

Широкая распространенность постковидных симптомов и их влияние на качество жизни говорят о том, что эффекты COVID-19 могут наблюдаться и после первоначального выздоровления даже в долгосрочном периоде.

Ключевые слова: постковидные симптомы, COVID-19, влияние, здоровье, депрессия, тревожность, качество жизни, перекрестное исследование, Вьетнам.

Появление COVID-19 создало серьезные риски для здоровья. Вслед за самим COVID-19 постковидный синдром вызывал ухудшения физического и психического здоровья пациентов. Это привело к снижению качества жизни, которое как концепция определяет счастье индивидов или сообществ посредством влияния таких факторов, как физическое здоровье, психическое здоровье и социальные взаи-

© Хуэ Ву Тхи, Анх Дао Нго, Нхат-Ле Буи, Йен Ви Нгуен Тхи, Тхук Куен Нгуен, Хоанг Лам Нгуен, Тху Дуонг Ву, Динх-Той Чу, 2026

Хуэ Ву Тхи – магистр, член междисциплинарной исследовательской группы биомедицины и здоровья; преподаватель (e-mail: huevt@vnuis.edu.vn; тел.: +84 (965) 328-817; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6940-2216>).

Анх Дао Нго – студент магистратуры, член междисциплинарной исследовательской группы биомедицины и здоровья (e-mail: ngoanhdao312@gmail.com; тел.: +84 (369) 588-070).

Нхат-Ле Буи – магистр, член междисциплинарной исследовательской группы биомедицины и здоровья; преподаватель (e-mail: lebn@vnu.edu.vn; тел.: +84 (858) 423-734; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8571-5723>).

Йен Ви Нгуен Тхи – магистр, член междисциплинарной исследовательской группы биомедицины и здоровья; сотрудник факультета (тел.: +84 (858) 423-734; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8571-5723>).

Тхук Куен Нгуен – магистр, член междисциплинарной исследовательской группы биомедицины и здоровья; преподаватель; сотрудник центра (e-mail: quyennt@vnuis.edu.vn; тел.: +84 (382) 538-591; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7151-7080>).

Хоанг Лам Нгуен – магистр, член междисциплинарной исследовательской группы биомедицины и здоровья (e-mail: hoanglamnguyen9819@gmail.com; тел.: +84 (982) 502-596).

Тху Дуонг Ву – магистр, член междисциплинарной исследовательской группы биомедицины и здоровья (e-mail: vuthuyduong40@gmail.com; тел.: +84 (917) 788-298).

Динх-Той Чу – доктор наук, доцент, руководитель, декан (e-mail: chudinhtoi.hnue@gmail.com; тел.: +84 (966) 409-783; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4596-2022>).

моотношения [1, 2]. Чтобы получить детальное описание постковидного синдрома, Центр по контролю над заболеваниями применил актуальную классификационную статистику по пандемии и собрал данные от разных организаций и на разных территориях, чтобы установить пять общих групп симптомов [3]. Первая группа включает физическое или психическое истощение. Одышка, боль в груди и кашель указывают на респираторные и сердечные заболевания. Головные боли, проблемы со сном и депрессия являются примерами неврологических симптомов. Боли в животе и диарея служат примером гастроэнтерологических симптомов. Наконец, различные симптомы включают боли в суставах, боли в мышцах или изменения менструального цикла [3].

После того как пациент переболел COVID-19, постковидный синдром или длительные симптомы COVID-19 могут наблюдаться в течение недель, месяцев и даже лет и в некоторых случаях приводить к осложнениям [3]. Повреждение нервных клеток расценивается учеными как основная косвенная причина подобной ситуации [4]. По сравнению с мужчинами, у женщин с большей вероятностью возможно развитие симптомов истощения, болей в мышцах, плохого настроения, тревоги, нарушений сна, ухудшения памяти, дефицита внимания и ухудшения когнитивных функций [5]. На 21 августа 2023 г. было зарегистрировано более 21 млн пациентов с умеренной тяжестью заболевания (99,8%), а у 37 393 пациентов (0,2%) состояние было тяжелым и опасным для здоровья¹. Согласно данным опроса, до 46% участников полагают, что COVID-19 оказал значительное воздействие на их здоровье и качество жизни [6].

С начала пандемии COVID-19 во Вьетнаме было зарегистрировано 11 614 303 случая заболевания, и страна заняла 13-е место по данному показателю среди 231 страны и территории². В рамках научной конференции по лечению симптомов постковидного синдрома 30.03.2022 профессор Нгуен Ван Кинх, вице-президент Главной медицинской ассоциации Вьетнама, перечислил 203 постковидных симптома, обнаруженных у населения Вьетнама. В другом отчете Министерства здравоохранения Вьетнама с итогами изучения постковидного синдрома указывается, что более 80% участников опроса жаловались на признаки утомляемости, а 61% испытывали ее в полной мере. Более 50% пациентов с легочным фиброзом также страдали от ухудшения когнитивных функций, у 51% случились инсульты, 45% страдали бессонницей, а у 33% серьезно пострадали почки³. Однако данных по отдаленным последствиям COVID-19 во Вьетнаме недостаточно, и в национальных исследованиях уделялось слишком мало внимания взаимосвязи между состоянием здоровья после

COVID-19 и качеством жизни. Это в особенности касается международных исследований, опубликованных во Вьетнаме. Поэтому целью данного исследования является получение четких и точных объективных данных о ситуации с постковидными симптомами и их влиянии на здоровье и качество жизни населения Вьетнама.

Материалы и методы. Для сбора информации в течение одного месяца (с 28.11.2022 по 29.12.2022) использовался инструмент Google Forms. Опросник включал в себя три основных блока. Блок А содержал вопросы о личных данных, включая личностные характеристики и данные по COVID-19 для индивидуального пациента. Для данного исследования были отобраны только анкеты людей, переболевших COVID-19. В блоке Б применялся опросный лист о постковидных симптомах, основанный на их определении и классификации, предложенной Центром по контролю над заболеваниями [6]. Блок В содержал вопросы о качестве жизни на основе опросника EuroQol-5D (EQ-5D) (инструмент оценки состояния здоровья) [7].

Исследование было выполнено с применением прикладного программного обеспечения STATA.14 (STATA CORP LLC, USA) для анализа данных. Характеристики участников, постковидные симптомы и качество жизни были изучены при помощи методов описательной статистики. Для анализа различий между характеристиками участников исследования применялся метод хи-квадрат. Влияние постковидных симптомов на качество жизни изучалось с применением корреляции Пирсона и *U*-критерия Манна – Уитни; различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Характеристики участников. В рамках данного исследования были получены заполненные опросники 972 участников: 306 мужчин (что составило 31,5%) и 666 женщин (68,5%) (табл. 1).

Возраст большинства участников составил от 18 до 44 лет, что составило 92,59%, и только двум участникам было более 65 лет. Большинство участников не состояли в браке (80,04%). Также большинство участников переболели COVID-19 только один раз (83,66%), и почти половина участников опроса впервые переболели COVID-19 от полугода до года назад. 78,76% участников указали, что получили по меньшей мере две дозы вакцины против COVID-19, а 5,88% признали, что не были вакцинированы против заболевания. Выявлены некоторые значимые различия между участниками мужского и женского пола, включая уровень среднемесячного дохода, сколько раз участник переболел COVID-19, длительность заболевания, хронические заболевания

¹ COVID-19 CORONAVIRUS PANDEMIC [Электронный ресурс] // Worldometer. – 2022. – URL: <https://www.worldometers.info/coronavirus/> (дата обращения: 15.03.2024).

² June 2: There were 744 new COVID-19 cases in 24 hours // Health M.o. – 2023.

³ Morning of March 31: 5 provinces and cities with the most total F0? Post-COVID-19 left a series of sequelae // Health M.o. – 2022.

Таблица 1

Характеристика участников ($n = 972$)

Параметр	Пол						<i>p</i>
	муж.		жен.		всего		
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	
Возраст, лет							
18–44	286	93,46	614	92,19	900	92,59	0,541
44–65	20	6,54	50	7,51	70	7,2	
> 65	0,00	0,00	2	0,3	2	0,21	
Этническая принадлежность							
кинь	298	97,39	639	95,95	937	96,4	0,263
прочие	8	2,61	27	4,05	35	3,6	
Семейное положение							
в браке	51	16,67	122	18,32	173	17,8	0,240
не в браке	245	80,07	533	80,03	778	80,04	
прочее	10	3,27	11	1,65	21	2,16	
Работа в здравоохранении							
нет	261	85,29	562	84,38	823	84,67	0,715
да	45	14,71	104	15,62	149	15,33	
Среднемесячный доход, млн донг/мес.							
≤ 5	184	60,13	452	67,87	636	65,43	0,018*
> 5	122	39,87	214	32,13	336	34,57	
Место проживания							
город	258	84,31	561	84,23	819	84,26	0,975
сельская местность	48	15,69	105	15,77	153	15,74	
Сколько раз заражались COVID-19?							
один раз	256	83,66	584	87,69	840	86,42	0,047*
два раза	39	12,75	73	10,96	112	11,52	
> 2 раз	11	3,59	9	1,35	20	2,06	
Как давно вы впервые заразились COVID-19?							
< 1 месяца	13	4,25	21	3,15	34	3,50	0,022*
1–3 месяца	11	3,59	45	6,76	56	5,76	
3–6 месяцев	72	23,53	149	22,37	221	22,74	
6 месяцев – 1 год	152	49,67	367	55,11	519	53,40	
> 1 года	58	18,95	84	12,61	142	14,61	
Где вы лечились?							
больница	11	3,59	3	0,45	14	1,44	0,001**
дома	289	94,44	648	97,30	937	96,40	
в зоне изоляции	4	1,31	14	2,10	18	1,85	
другое	2	0,65	1	0,15	3	0,31	
Наличие хронических заболеваний до заражения COVID-19							
нет	301	98,37	638	95,80	939	96,60	0,040*
да	5	1,63	28	4,20	33	3,40	
Были ли вы вакцинированы против COVID-19 до заражения?							
нет	18	5,88	31	4,65	49	5,04	0,621
получена первая доза	47	15,36	122	18,32	169	17,39	
получены две дозы	132	43,14	279	41,89	411	42,28	
получены дополнительные дозы сверх двух	109	35,62	234	35,14	343	35,29	
Самооценка здоровья							
очень хорошее	105	34,31	88	13,21	193	19,86	<0,001***
хорошее	130	42,48	232	34,83	362	37,24	
нормальное	65	21,24	315	47,30	380	39,09	
плохое	4	1,31	31	4,65	35	3,60	
очень плохое	2	0,65	0,00	0,00	2	0,21	

Примечание: различия значимы при * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$ по критерию хи-квадрат.

в анамнезе, а также самооценку здоровья. Следует отметить, что доля мужчин с хроническими заболеваниями в анамнезе до заражения COVID-19 (1,63 %) была значительно ниже доли женщин (4,2 %). Мужчины в

целом оценивали свое здоровье более высоко, чем женщины, поскольку 76,79 % мужчин оценивали свое здоровье как хорошее и очень хорошее, а среди женщин такую оценку дали только 48,04 % опрошенных.

Наличие постковидных симптомов. В целом более 75 % участников сообщили о наличии одного или более постковидных симптомов (рис. 1). Наиболее распространенными стали неврологические симптомы, отмеченные 64,09 % участников; за ними следовали симптомы респираторных и сердечных заболеваний – 60,08 и 50,31 % соответственно. Более 11 % участников страдали от гастроэнтерологических симптомов, включая диарею и боли в животе, а наличие остальных симптомов было выявлено примерно у 40 % участников.

Что касается неврологических симптомов, то почти половина участников отметили трудности с мышлением и концентрацией внимания, около 40 % страдали расстройствами сна и головными болями (рис. 1).



Рис. 1. Наличие постковидных симптомов (цветовые обозначения: синий – доля людей с наличием определенных постковидных симптомов; желтый – доля людей с наличием хотя бы одного постковидного симптома)

Около 20 % участников жаловались на тревожность или депрессию, а у 13 % обнаружили изменения обоняния / вкуса. Среди симптомов рес-

пираторных и сердечных заболеваний самым распространенным стала дыхательная недостаточность, от которой страдали 38,79 и 38,62 % участников соответственно. На боль в груди жаловались 15,33 % участников, а более 20 % испытывали трудности с дыханием. Помимо этого, почти половина пациентов, переболевших COVID-19, испытывали усталость, у 13,89 % сохранилась повышенная температура, а 22,04 % жаловались на быструю утомляемость. Что касается остальных симптомов, то частота изменений менструального цикла и боли в суставах / мышцах были выявлены у 23,97 и 27,37 % участников соответственно. Сыпь стала наименее распространенным симптомом, поскольку на нее пожаловались лишь 3,81 % участников.

Значимые различия в распространенности постковидных симптомов были выявлены между мужчинами и женщинами: 81,23 % женщин и только 66,99 % мужчин отмечали наличие данных симптомов ($p < 0,001$) (табл. 2).

Четыре из пяти групп постковидных симптомов, включая симптомы респираторных и сердечных заболеваний, неврологические расстройства и другие, были значимо чаще отмечены женщинами, чем мужчинами ($p < 0,01$). Это может говорить о том, что женщины подвержены более высокому риску развития постковидного синдрома.

Уровень качества жизни. Большинство участников отметили отсутствие проблем по пяти аспектам качества жизни. По аспекту мобильности проблемы отсутствовали у примерно 92 % участников, незначительные проблемы были отмечены 5,8 % участников, и только 2 % пожаловались на умеренные или серьезные проблемы с мобильностью (рис. 2).

Подобный тренд наблюдался для аспектов самообслуживания и обычной жизнедеятельности, а именно 96,4 % респондентов не испытывали никаких трудностей с самообслуживанием, незначительные трудности были выявлены у 2,8 % участников и почти отсутствовали респонденты, которые испытывали тяжелые или исключительно тяжелые проблемы с данным аспектом качества жизни. Подобным образом доля участников, переболевших COVID-19, с отсутствием проблем или незначительными проблемами с обычной жизнедеятельностью составила 89,2 и 9,3 % соответственно, в то время как число участников, испытывающих умеренные

Таблица 2

Наличие постковидных симптомов в разрезе пола участников

Симптом	Мужчины		Женщины		Итого		p
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	
Общие симптомы	134	43,79	355	53,3	489	50,31	0,006**
Симптомы респираторных и сердечных заболеваний	158	51,63	426	63,96	584	60,08	<0,001***
Неврологические расстройства	165	53,92	458	68,77	623	64,09	<0,001***
Расстройства пищеварения	35	11,44	77	11,56	112	11,52	0,955
Прочие симптомы	70	22,88	316	47,45	386	39,71	<0,001***
Итого	205	66,99	541	81,23	746	76,75	<0,001***

Примечание: различия статистически значимы при * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ по тесту хи-квадрат.

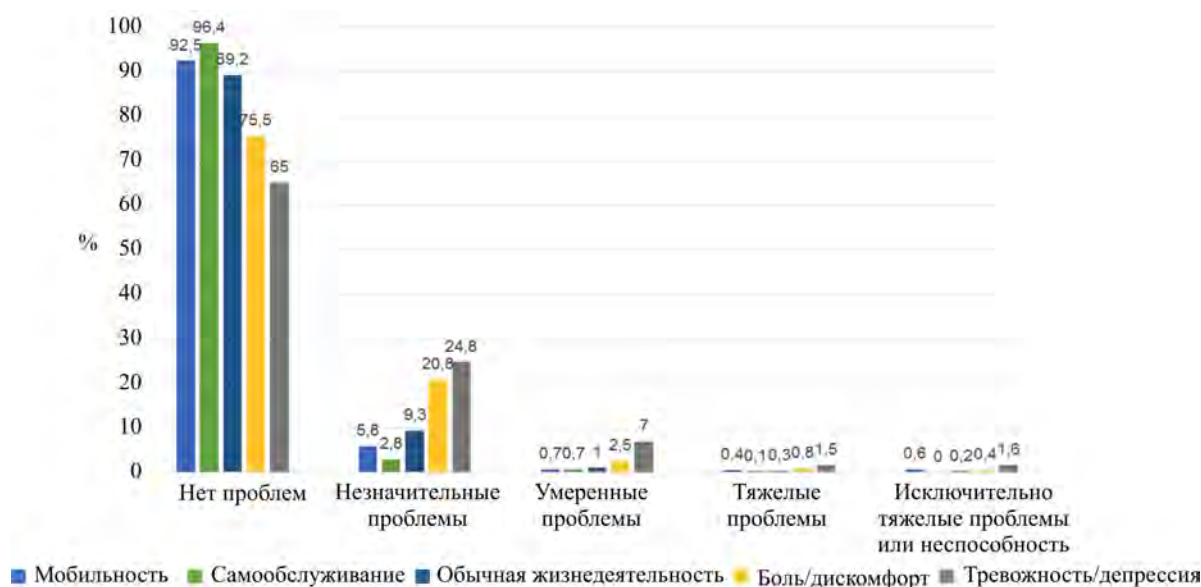


Рис. 2. Качество жизни участников

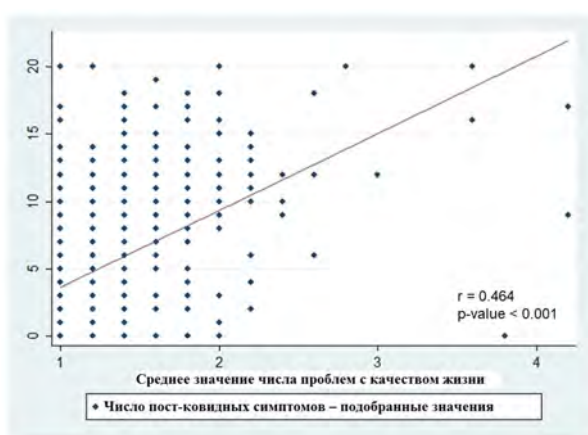


Рис. 3. Взаимосвязь между постковидными симптомами и качеством жизни (чем больше постковидных симптомов у пациента, тем ниже качество жизни)

или тяжелые проблемы в данном аспекте, было незначительным. Более 20 % участников пожаловались на слабую боль или дискомфорт; доля тех, кто испытывали умеренную или серьезную боль и дискомфорт, составила 3,7 %. Помимо этого, были выявлены довольно заметные изменения в состоянии психического здоровья. Примерно 3 % участников пожаловались на тяжелые или даже исключительно тяжелые проблемы с тревогой и депрессией, еще 2,5 % респондентов пожаловались на умеренные проблемы, связанные с данными состояниями, а незначительные проблемы были выявлены у 24,8 %.

Влияние постковидных симптомов на качество жизни. Для определения влияния постковидных симптомов на здоровье была применена шкала оценки качества жизни по пяти аспектам: мобильность, самообслуживание, обычная жизнедеятельность, боль / дискомфорт и тревожность / депрессия. Согласно данной шкале, чем выше балл, тем ниже

качество жизни. Выявлена отрицательная корреляция между количеством постковидных симптомов и качеством жизни, что означало, что чем больше постковидных симптомов было выявлено у пациента, тем ниже было качество его жизни ($r = 0,464$; $p\text{-value} < 0,001$) (рис. 3).

В целом все постковидные симптомы, в число которых входят симптомы респираторных и сердечных заболеваний, неврологические симптомы, гастроэнтерологические симптомы, а также прочие симптомы, оказывали существенное статистически значимое негативное воздействие на качество жизни участников опроса ($p < 0,05$) (табл. 3).

Участники, страдающие от усталости, имели средний балл $1,33 \pm 0,29$, в то время как этот балл составлял $1,11 \pm 0,29$ для участников, не испытывающих чувства усталости. Подобным образом балл участников, отметивших трудности с мышлением и концентрацией внимания, являющихся широко распространенным постковидным симптомом, был значимо выше, чем балл, подсчитанный для участников, не испытывающих данные трудности ($1,34 \pm 0,45$ против $1,11 \pm 0,26$). Подобный тренд был выявлен и для менее распространенных постковидных симптомов. Участники, которые жаловались на сыпь после COVID-19, имели балл по шкале оценки качества жизни, равный $1,55 \pm 0,81$, что было значительно выше балла, подсчитанного для участников, не страдающих от подобного симптома ($1,20 \pm 0,34$).

Пандемия COVID-19 унесла миллионы жизней и причинила огромный экономический и психологический ущерб. Согласно отчету T. Nasserie et al., опубликованному в 2021 г., было выявлено более 80 постковидных симптомов, но конкретный механизм возникновения каждого из них до сих пор тщательно изучается [8]. Согласно исследованию, опубликованному J. Joli et al. в 2022 г., типичными постковидными симптомами являются потеря аппетита,

Влияние постковидных симптомов на качество жизни

Фактор	Проблемы качества жизни					p	
	среднее	SD	CO	95 % ДИ			
<i>Общие симптомы</i>							
Усталость	Нет	1,11	0,29	0,01	1,08	1,13	<0,001***
	Да	1,33	0,42	0,02	1,30	1,37	
Утомляемость	Нет	1,16	0,33	0,01	1,14	1,18	<0,001***
	Да	1,41	0,47	0,03	1,35	1,48	
Лихорадка	Нет	1,18	0,33	0,01	1,16	1,21	<0,001***
	Да	1,42	0,56	0,05	1,32	1,52	
<i>Симптомы респираторных и сердечных заболеваний</i>							
Трудности с дыханием	Нет	1,16	0,31	0,01	1,14	1,18	<0,001***
	Да	1,41	0,51	0,03	1,34	1,48	
Одышка	Нет	1,15	0,33	0,01	1,13	1,18	<0,001***
	Да	1,32	0,43	0,02	1,28	1,36	
Кашель	Нет	1,16	0,33	0,01	1,14	1,19	<0,001***
	Да	1,30	0,43	0,02	1,26	1,34	
Боль в груди	Нет	1,18	0,33	0,01	1,15	1,20	<0,001***
	Да	1,44	0,51	0,04	1,36	1,52	
Учащенное сердцебиение	Нет	1,16	0,31	0,01	1,14	1,18	<0,001***
	Да	1,40	0,50	0,03	1,34	1,47	
<i>Неврологические симптомы</i>							
Трудности с мышлением	Нет	1,11	0,26	0,01	1,09	1,14	<0,001***
	Да	1,34	0,45	0,02	1,30	1,38	
Головные боли	Нет	1,12	0,25	0,01	1,10	1,14	<0,001***
	Да	1,38	0,49	0,03	1,33	1,43	
Нарушения сна	Нет	1,12	0,25	0,01	1,10	1,15	<0,001***
	Да	1,35	0,47	0,02	1,30	1,39	
Головокружение	Нет	1,15	0,29	0,01	1,13	1,17	<0,001***
	Да	1,45	0,54	0,04	1,38	1,53	
Ощущение покалывания	Нет	1,18	0,31	0,01	1,16	1,20	<0,001***
	Да	1,49	0,66	0,06	1,36	1,61	
Изменения в обонянии / вкусе	Нет	1,18	0,30	0,01	1,16	1,20	<0,001***
	Да	1,49	0,64	0,06	1,38	1,60	
Депрессия или тревожность	Нет	1,13	0,26	0,01	1,11	1,15	<0,001***
	Да	1,56	0,54	0,04	1,49	1,64	
<i>Гастроэнтерологические симптомы</i>							
Диарея	Нет	1,20	0,33	0,01	1,17	1,22	<0,001***
	Да	1,49	0,73	0,09	1,32	1,67	
Боль в животе	Нет	1,19	0,36	0,01	1,17	1,22	<0,001***
	Да	1,43	0,45	0,05	1,34	1,52	
<i>Прочие симптомы</i>							
Мышечные или суставные боли	Нет	1,15	0,32	0,01	1,12	1,17	<0,001***
	Да	1,40	0,46	0,03	1,34	1,45	
Сыпь	Нет	1,20	0,34	0,01	1,18	1,23	0,005**
	Да	1,55	0,81	0,13	1,28	1,82	
Изменения менструального цикла	Нет	1,17	0,31	0,01	1,15	1,19	<0,001***
	Да	1,36	0,52	0,03	1,29	1,42	

Примечание: различия статистически значимы при * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ по U-критерию Манна – Уитни.

одышка и слабость [9]. Однако согласно результатам нашего исследования, самыми распространенными постковидными симптомами являются утомляемость, головная боль, трудности с мышлением и концентрацией внимания (частота каждого из перечисленных симптомов превышает 37 %). Это расхождение может быть связано с различием в количестве случаев заражения COVID-19, временем, прошедшим с момента первого заражения COVID-19, и местом, где пациент

проходил лечение от инфекции. Помимо этого, результаты нашего исследования отмечают наличие хотя бы одного постковидного симптома у 76,75 % участников. В нескольких исследованиях сообщалось, что 90 % пациентов, переживших лечение в палатах интенсивной терапии, страдали по крайней мере от одного отдаленного постковидного нарушения психического или физического здоровья в период от 3 до 6 месяцев после выписки из больницы [10, 11].

Постковидные симптомы являются значительным бременем для экономики и здоровья людей, переболевших данной инфекцией, и для всего сообщества в целом. Исследование, в котором участвовали пациенты, выздоравливающие после перенесенного COVID-19, выявило значительные ухудшения их здоровья и ограничения мобильности вследствие мышечной слабости и болей в суставах. Участники нашего исследования также сталкивались с данной проблемой. Однако на момент исследования они оценивали свое здоровье как относительно хорошее. Помимо этого мы выявили изменения менструального цикла, депрессию и тревожность как симптомы, оказывающие влияние на качество жизни населения Вьетнама. В исследовании, выполненном M.Q. Vu et al., большинство участников также указывали на наличие тревожности и депрессии [12]. В исследовании [13] отмечалось, что повреждение структур головного мозга вследствие COVID-19, вызывающее чрезмерный иммунный ответ, являлось причиной вышеупомянутых расстройств.

По пяти аспектам качества жизни мы выявили наибольшие доли участников, страдающих от тревожности / депрессии (35 %) и боли / дискомфорта (24,5 %). Системный обзор и метаанализ 12 публикаций также выявил наивысшие доли вышеупомянутых симптомов [2]. Многие пациенты, переболевшие COVID-19, признавали наличие проблем с тревожностью / депрессией, что могло быть вызвано посттравматическим стрессовым расстройством (ПТСР) после перенесенного заболевания. Согласно распоряжениям правительства Вьетнама, пациентам с COVID-19 следует соблюдать жесткий карантин, и им запрещено покидать свои дома во время всплеск заболевания⁴, что может вызвать значительный стресс и, следовательно, внести свой вклад в развитие ПТСР. Более высокий уровень заболеваемости ПТСР предположительно может выявляться среди пациентов, переболевших COVID-19, у которых имеются сопутствующие заболевания [2]. Более высокие уровни смертности, связанные с данными сопутствующими заболеваниями, могут вызывать повышенное чувство страха и тревоги у таких пациентов. Между тем вторым по распространенности проблемным аспектом, выявленным в нашем исследовании, является наличие боли / дискомфорта. Наиболее распространенным постковидным симптомом, связанным с болью, согласно данным нашего исследования, является головная боль (37,49 %). Более того, E. Mutiawati et al. утверждали, что 21,4 % участников их исследования имели более низкое качество жизни по причине головных болей как постковидного симптома [14], что говорит о значительном вкладе головной боли в аспект качества жизни, связанный с наличием боли / дискомфорта. Далее, поскольку аспекты качества

жизни, связанные с физическим здоровьем пациентов после перенесенного COVID-19, имеют тенденцию к относительному улучшению со временем [15], вполне объясним тот факт, что три других аспекта, включая самообслуживание, мобильность и обычную жизнедеятельность, как правило, вносят не столь значительный вклад в общую оценку качества жизни.

Результаты нашего исследования указывают, что постковидные симптомы негативно влияют на качество жизни. Увеличение числа постковидных симптомов было связано с ростом числа проблем с качеством жизни. P. Smith et al. также указали на наличие подобной взаимосвязи между постковидными симптомами и качеством жизни в своем исследовании, в котором сообщили, что участники с наличием постковидных симптомов и снижением качества жизни составили наивысшую долю среди пациентов, перенесших инфекцию, три месяца спустя после выздоровления [16]. Наибольшее влияние на качество жизни среди всех постковидных симптомов оказывают тревожность и депрессия (1,56). Фактически, известно негативное воздействие, оказываемое депрессивными постковидными симптомами, включая тревожность и депрессию, на качество сна, нейрокогнитивное функционирование и, следовательно, на качество жизни [17]. В результате для повышения качества жизни пациентов после COVID-19 были предложены более современные методы междисциплинарной реабилитации, в особенности, основанные на психологии; их недавнее применение привело к положительным результатам [18]. Хотя точные механизмы постковидных симптомов до сих пор не известны, невозможно отрицать их разрушительное воздействие на здоровье и качество жизни. Наше исследование с высокой долей пациентов с постковидными симптомами станет стимулом для ответственных организаций и правительства обратить более пристальное внимание на данную проблему здравоохранения. Органы здравоохранения могут рассмотреть возможность создания соответствующих структур и разработки методик для оказания помощи пациентам с постковидными симптомами. Наше исследование может служить основой для последующих более глубоких исследований воздействия постковидных симптомов на патологические состояния здоровья. Поэтому в нашем исследовании подчеркивается необходимость принятия мер, направленных на информирование общественности о постковидном синдроме путем соответствующих кампаний об охране здоровья.

Ограничения исследования. Исследование предполагало три основных ограничения. Во-первых, основным методом исследования был онлайн-опрос. В результате данные о заражении и заболевании COVID-19 были субъективными, предоставленными

⁴ Quyết định ngày 15/3 của Bộ Y tế: F0 cần hạn chế tối đa ra khỏi phòng cách ly, không được ra khỏi nhà [Электронный ресурс] // Vietnam Ministry of Health. – 2022. – URL: <https://covid19.gov.vn/quyet-dinh-ngay-15-3-cua-bo-y-te-f0-can-han-che-toi-da-ra-khoi-phong-cach-ly-khong-duoc-ra-khoi-nha-171220315153728073.htm> (дата обращения: 02.09.2023).

участниками опроса и не подкрепленными никакими результатами объективных тестов. С другой стороны, в момент стремительного распространения пандемии COVID-19 онлайн-опрос справедливо считался наиболее разумным методом исследования, предотвращающим распространение заболевания. Еще одним ограничением исследования является тот факт, что постковидные симптомы оценивались только на основании информации, предоставленной участниками, что может оказать влияние на надежность результатов. Третье ограничение заключается в том, что мы не описали в подробностях механизм, посредством которого постковидные симптомы влияют на качество жизни пациентов. Наконец, в исследовании не рассматривается такой ключевой критерий включения, как регион проживания участников. Учет данного критерия мог бы улучшить понимание различий во влиянии постковидных симптомов на качество жизни между регионами Вьетнама.

Выводы. Для разработки эффективных методов лечения, направленных на смягчение постковидных симптомов и повышение качества жизни пациентов с подобными нарушениями здоровья, потребуются

более глубокие и всесторонние исследования. Несмотря на это, наше исследование имеет значимые результаты, поскольку нам удалось выявить довольно высокую долю распространенности постковидных симптомов среди населения Вьетнама, а также их негативное воздействие на качество жизни. Это свидетельствует, что COVID-19 может иметь отдаленные негативные последствия для здоровья пациентов даже после первоначального выздоровления. Из 972 участников нашего исследования 76,75 % указали на наличие по крайней мере одного постковидного симптома. Необходима организация и проведение кампаний, направленных на повышение информированности сообществ о данной проблеме; они должны поощрять стремление пациентов, перенесших COVID-19, сообщать о проблемах со здоровьем. Особенно эффективной будет организация таких кампаний правительственными структурами.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Teoli D., Bhardwaj A. Quality Of Life. – Treasure Island (FL): StatPearls Publ., 2023.
2. Post-acute COVID-19 syndrome (PCS) and health-related quality of life (HRQoL) – A systematic review and meta-analysis / P. Malik, K. Patel, C. Pinto, R. Jaiswal, R. Tirupathi, S. Pillai, U. Patel // *J. Med. Virol.* – 2022. – Vol. 94, № 1. – P. 253–262. DOI: 10.1002/jmv.27309
3. National Center for Immunization and Respiratory Diseases (U.S.). Division of Viral Diseases. Long COVID or Post-COVID Conditions // *CDC Stacks.* – 2023.
4. Long COVID or post COVID-19 syndrome / J. Lechner-Scott, M. Levy, C. Hawkes, A. Yeh, G. Giovannoni // *Mult. Scler. Relat. Disord.* – 2021. – Vol. 55. – P. 103268. DOI: 10.1016/j.msard.2021.103268
5. Post-COVID-19 Syndrome and the Potential Benefits of Exercise / A. Jimeno-Almazán, J.G. Pallarés, Á. Buendía-Romero, A. Martínez-Cava, F. Franco-López, B.J. Sánchez-Alcaraz Martínez, E. Bernal-Morel, J. Courel-Ibáñez // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2021. – Vol. 18, № 10. – P. 5329. DOI: 10.3390/ijerph18105329
6. Assessment of life quality and health perception among recovered COVID-19 patients: multivariate analysis – own material and a review of previous reports on life quality assessment among convalescents / N. Zięba, G. Stryjewska-Makuch, K. Goroszkiewicz, M. Zieliński, A. Dadok, B. Pietrzyk, J. Gajewska, K. Miśkiewicz-Orczyk, G. Lisowska // *Med. Pr.* – 2022. – Vol. 73, № 6. – P. 449–456. DOI: 10.13075/mp.5893.01297
7. An initial assessment of status of post-COVID-19 symptoms in Vietnamese students / D.-T. Chu, H.V. Thi, Y.V.N. Thi, T.D. Vu, L.T. Tran, Q.C. Bui, C.H. Thi, T.V. Than // *J. Adv. Biotechnol. Exp. Ther.* – 2024. – Vol. 7, № 2. – P. 378–384.
8. Nasserie T., Hittle M., Goodman S.N. Assessment of the Frequency and Variety of Persistent Symptoms Among Patients With COVID-19: A Systematic Review // *JAMA Netw. Open.* – 2021. – Vol. 4, № 5. – P. e2111417. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.11417
9. Post-COVID-19 fatigue: A systematic review / J. Joli, P. Buck, S. Zipfel, A. Stengel // *Front. Psychiatry.* – 2022. – Vol. 13. – P. 947973. DOI: 10.3389/fpsy.2022.947973
10. Post-intensive care syndrome after a critical COVID-19: cohort study from a Belgian follow-up clinic / A.-F. Rousseau, P. Minguet, C. Colson, I. Kellens, S. Chaabane, P. Delanaye, E. Cavalier, J.G. Chase [et al.] // *Ann. Intensive Care.* – 2021. – Vol. 11, № 1. – P. 118. DOI: 10.1186/s13613-021-00910-9
11. Six-Month Outcomes in COVID-19 ICU Patients and Their Family Members: A Prospective Cohort Study / N. van Veenendaal, I.C. van der Meulen, M. Onrust, W. Paans, W. Dieperink, P.H.J. van der Voort // *Healthcare (Basel).* – 2021. – Vol. 9, № 7. – P. 865. DOI: 10.3390/healthcare9070865
12. Health-related quality of life of the Vietnamese during the COVID-19 pandemic / M.Q. Vu, T.T.P. Tran, T.A. Hoang, L.Q. Khuong, M.V. Hoang // *PLoS One.* – 2020. – Vol. 15, № 12. – P. e0244170. DOI: 10.1371/journal.pone.0244170
13. Neurological associations of COVID-19 / M.A. Ellul, L. Benjamin, B. Singh, S. Lant, B.D. Michael, A. Easton, R. Kneen, S. Defres [et al.] // *Lancet Neurol.* – 2020. – Vol. 19, № 9. – P. 767–783. DOI: 10.1016/S1474-4422(20)30221-0
14. Headache in Post-COVID-19 Patients: Its Characteristics and Relationship with the Quality of Life / E. Mutiawati, H.I. Kusuma, M. Fahriani, H. Harapan, S. Syahrul, N. Musadir // *Medicina (Kaunas).* – 2022. – Vol. 58, № 10. – P. 1500. DOI: 10.3390/medicina58101500
15. Physical Health-Related Quality of Life Improves over Time in Post-COVID-19 Patients: An Exploratory Prospective Study / S. Malesevic, N.A. Sievi, D. Schmidt, F. Vallelian, I. Jelcic, M. Kohler, C.F. Clarenbach // *J. Clin. Med.* – 2023. – Vol. 12, № 12. – P. 4077. DOI: 10.3390/jcm12124077

16. Post COVID-19 condition and health-related quality of life: a longitudinal cohort study in the Belgian adult population / P. Smith, R. De Pauw, D. Van Caueren, S. Demarest, S. Drieskens, L. Cornelissen, B. Devleesschauwer, K. De Ridder, R. Charafeddine // BMC Public Health. – 2023. – Vol. 23, № 1. – P. 1433. DOI: 10.1186/s12889-023-16336-w

17. Post-COVID-19 Depressive Symptoms: Epidemiology, Pathophysiology, and Pharmacological Treatment / M.G. Mazza, M. Palladini, S. Poletti, F. Benedetti // CNS Drugs. – 2022. – Vol. 36, № 7. – P. 681–702. DOI: 10.1007/s40263-022-00931-3

18. Post-Covid-19 Syndrome: Improvements in Health-Related Quality of Life Following Psychology-Led Interdisciplinary Virtual Rehabilitation / S. Harenwall, S. Heywood-Everett, R. Henderson, S. Godsell, S. Jordan, A. Moore, U. Philpot, K. Shepherd [et al.] // J. Prim. Care Community Health. – 2021. – Vol. 12. – P. 21501319211067674. DOI: 10.1177/21501319211067674

Влияние постковидных симптомов на здоровье и качество жизни: перекрестное исследование во Вьетнаме / Хуэ Ву Тхи, Анх Дао Нго, Нхат-Ле Буи, Йен Ви Нгуен Тхи, Тхук Куен Нгуен, Хоанг Лам Нгуен, Тху Дуонг Ву, Динх-Той Чу // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 115–124. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.11

UDC 616.9; 578.834.1; 314.17
DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.11.eng



Research article

IMPACT OF POST-COVID-19 SYMPTOMS ON HEALTH AND QUALITY OF LIFE: A STUDY FROM VIETNAM

Hue Vu Thi^{1,2}, Anh Dao Ngo¹, Nhat-Le Bui^{1,2}, Yen Vy Nguyen Thi^{1,2}, Thuc Quyen Nguyen^{1,2,3}, Hoang Lam Nguyen¹, Thuy Duong Vu¹, Dinh-Toi Chu^{1,2}

¹The Interdisciplinary Research Group on Biomedicine and Health, International School, Vietnam National University, Hanoi, Vietnam

²Faculty of Applied Sciences, International School, Vietnam National University, Hanoi, Vietnam

³The Interdisciplinary Research Group on Science, Technology, Innovation and Society, International School, Vietnam National University, Hanoi, Vietnam

This study aimed to describe the status of post-COVID-19 symptoms and their impact on the quality of life in Vietnamese people.

The secondary analysis was performed on the data from a cross-sectional study conducted in Vietnam in 2022.

Of the 972 participants, 76.75 % reported experiencing at least one COVID-19 symptom. Respiratory and heart symptoms and neurological symptoms were the types of symptoms that were reported the most. An increase in post-COVID-19 symptoms has an association with an increased number of problems in life quality. Pain/discomfort and anxiety/depression were the most common problems regarding the quality of life (35 % and 24.5 %, respectively). Problems with quality of life were significantly associated with all listed post-COVID-19 symptoms, in which depression and anxiety showed the highest impact.

The high prevalence of post-COVID-19 symptoms and their impact on quality of life suggests that the effects of COVID-19 can persist after initial recovery, even in the long term.

Keywords: post-COVID-19 symptoms, impact, health, quality of life, Vietnam.

© Hue Vu Thi, Anh Dao Ngo, Nhat-Le Bui, Yen Vy Nguyen Thi, Thuc Quyen Nguyen, Hoang Lam Nguyen, Thuy Duong Vu, Dinh-Toi Chu, 2026

Hue Vu Thi – Master's degree, a member; lecturer (e-mail: huevt@vnui.edu.vn; tel.: +84 (965) 328-817; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6940-2216>).

Anh Dao Ngo – Master's student, a member (e-mail: ngoanhdao312@gmail.com; tel.: +84 (369) 588-070).

Nhat-Le Bui – Master's degree, a member; lecturer (e-mail: lebn@vnu.edu.vn; tel.: +84 (858) 423-734; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8571-5723>).

Yen Vy Nguyen Thi – Master's degree, a member; staff (tel.: +84 (858) 423-734; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8571-5723>).

Thuc Quyen Nguyen – Master's degree, a member; lecturer; a member (e-mail: quyennt@vnui.edu.vn; tel.: +84 (382) 538-591; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7151-7080>).

Hoang Lam Nguyen – Master's degree, a member (e-mail: hoanglamnguyen9819@gmail.com; tel.: +84 (982) 502-596).

Thuy Duong Vu – Master's degree, a member (e-mail: vuthuyduong40@gmail.com; tel.: +84 (917) 788-298).

Dinh-Toi Chu – PhD, Associate Professor, Head; Dean (e-mail: chudinhtoi.hnue@gmail.com; tel.: +84 (966) 409-783; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4596-2022>).

References

1. Teoli D., Bhardwaj A. Quality Of Life. Treasure Island (FL), StatPearls Publ., 2023.
2. Malik P., Patel K., Pinto C., Jaiswal R., Tirupathi R., Pillai S., Patel U. Post-acute COVID-19 syndrome (PCS) and health-related quality of life (HRQoL)-A systematic review and meta-analysis. *J. Med. Virol.*, 2022, vol. 94, no. 1, pp. 253–262. DOI: 10.1002/jmv.27309
3. National Center for Immunization and Respiratory Diseases (U.S.). Division of Viral Diseases. Long COVID or Post-COVID Conditions. *CDC Stacks*, 2023.
4. Lechner-Scott J., Levy M., Hawkes C., Yeh A., Giovannoni G. Long COVID or post COVID-19 syndrome. *Mult. Scler. Relat. Disord.*, 2021, vol. 55, pp. 103268. DOI: 10.1016/j.msard.2021.103268
5. Jimeno-Almazán A., Pallarés J.G., Buendía-Romero Á., Martínez-Cava A., Franco-López F., Sánchez-Alcaraz Martínez B.J., Bernal-Morel E., Courel-Ibáñez J. Post-COVID-19 Syndrome and the Potential Benefits of Exercise. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, no. 10, pp. 5329. DOI: 10.3390/ijerph18105329
6. Zięba N., Stryjewska-Makuch G., Goroszkiewicz K., Zieliński M., Dadok A., Pietrzyk B., Gajewska J., Miśkiewicz-Orczyk K., Lisowska G. Assessment of life quality and health perception among recovered COVID-19 patients: multivariate analysis – own material and a review of previous reports on life quality assessment among convalescents. *Med. Pr.*, 2022, vol. 73, no. 6, pp. 449–456. DOI: 10.13075/mp.5893.01297
7. Chu D.-T., Thi H.V., Thi Y.V.N., Vu T.D., Tran L.T., Bui Q.C., Thi C.H., Than T.V. An initial assessment of status of post-COVID-19 symptoms in Vietnamese students. *J. Adv. Biotechnol. Exp. Ther.*, 2024, vol. 7, no. 2, pp. 378–384.
8. Nasserie T., Hittle M., Goodman S.N. Assessment of the Frequency and Variety of Persistent Symptoms Among Patients With COVID-19: A Systematic Review. *JAMA Netw. Open*, 2021, vol. 4, no. 5, pp. e2111417. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.11417
9. Joli J., Buck P., Zipfel S., Stengel A. Post-COVID-19 fatigue: A systematic review. *Front. Psychiatry*, 2022, vol. 13, pp. 947973. DOI: 10.3389/fpsy.2022.947973
10. Rousseau A.-F., Minguet P., Colson C., Kellens I., Chaabane S., Delanaye P., Cavalier E., Chase J.G. [et al.]. Post-intensive care syndrome after a critical COVID-19: cohort study from a Belgian follow-up clinic. *Ann. Intensive Care*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 118. DOI: 10.1186/s13613-021-00910-9
11. van Veenendaal N., van der Meulen I.C., Onrust M., Paans W., Dieperink W., van der Voort P.H.J. Six-Month Outcomes in COVID-19 ICU Patients and Their Family Members: A Prospective Cohort Study. *Healthcare (Basel)*, 2021, vol. 9, no. 7, pp. 865. DOI: 10.3390/healthcare9070865
12. Vu M.Q., Tran T.T.P., Hoang T.A., Khuong L.Q., Hoang M.V. Health-related quality of life of the Vietnamese during the COVID-19 pandemic. *PLoS One*, 2020, vol. 15, no. 12, pp. e0244170. DOI: 10.1371/journal.pone.0244170
13. Ellul M.A., Benjamin L., Singh B., Lant S., Michael B.D., Easton A., Kneen R., Defres S. [et al.]. Neurological associations of COVID-19. *Lancet Neurol.*, 2020, vol. 19, no. 9, pp. 767–783. DOI: 10.1016/S1474-4422(20)30221-0
14. Mutiawati E., Kusuma H.I., Fahriani M., Harapan H., Syahrul S., Musadir N. Headache in Post-COVID-19 Patients: Its Characteristics and Relationship with the Quality of Life. *Medicina (Kaunas)*, 2022, vol. 58, no. 10, pp. 1500. DOI: 10.3390/medicina58101500
15. Malesevic S., Sievi N.A., Schmidt D., Vallelian F., Jelcic I., Kohler M., Clarenbach C.F. Physical Health-Related Quality of Life Improves over Time in Post-COVID-19 Patients: An Exploratory Prospective Study. *J. Clin. Med.*, 2023, vol. 12, no. 12, pp. 4077. DOI: 10.3390/jcm12124077
16. Smith P., De Pauw R., Van Cauteren D., Demarest S., Drieskens S., Cornelissen L., Devleeschauwer B., De Ridder K., Charafeddine R. Post COVID-19 condition and health-related quality of life: a longitudinal cohort study in the Belgian adult population. *BMC Public Health*, 2023, vol. 23, no. 1, pp. 1433. DOI: 10.1186/s12889-023-16336-w
17. Mazza M.G., Palladini M., Poletti S., Benedetti F. Post-COVID-19 Depressive Symptoms: Epidemiology, Pathophysiology, and Pharmacological Treatment. *CNS Drugs*, 2022, vol. 36, no. 7, pp. 681–702. DOI: 10.1007/s40263-022-00931-3
18. Harenwall S., Heywood-Everett S., Henderson R., Godsell S., Jordan S., Moore A., Philpot U., Shepherd K. [et al.]. Post-Covid-19 Syndrome: Improvements in Health-Related Quality of Life Following Psychology-Led Interdisciplinary Virtual Rehabilitation. *J. Prim. Care Community Health*, 2021, vol. 12, pp. 21501319211067674. DOI: 10.1177/21501319211067674

Hue Vu Thi, Anh Dao Ngo, Nhat-Le Bui, Yen Vy Nguyen Thi, Thuc Quyen Nguyen, Hoang Lam Nguyen, Thuy Duong Vu, Dinh-Toi Chu. Impact of post-COVID-19 symptoms on health and quality of life: a study from Vietnam. *Health Risk Analysis*, 2026, no. 1, pp. 115–124. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.11.eng

Получена: 08.12.2025

Одобрена: 16.02.2026

Принята к публикации: 26.03.2026

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ РИСКА

УДК 616-092.12

DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.12

Читать
онлайн



Научная статья

ФЕНОМЕН «МЕТАБОЛИЧЕСКИ ЗДОРОВОГО ОЖИРЕНИЯ» КАК СОСТОЯНИЕ ЛАТЕНТНОГО РИСКА ЗДОРОВЬЮ

С.И. Ксенева¹, О.Ю. Трифонова¹, Е.А. Пыхтунова¹, А.А. Золотарев¹, В.В. Удут^{1,2}

¹Научно-исследовательский институт фармакологии и регенеративной медицины имени Е.Д. Гольдберга Томского национального исследовательского медицинского центра Российской академии наук, Российская Федерация, 634050, г. Томск, Набережная реки Ушайки, 10

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Пристальное внимание клиницистов к феномену «метаболически здорового ожирения» определяется двумя взаимодополняющими позициями: 1) изучаемый фенотип ожирения в условиях действия дополнительных факторов риска может явиться промежуточным звеном перехода к «метаболическому нездоровью»; и если это так, то 2) подобный фенотип представляет собой объект поиска триггеров превенции развития заболевания. Группы анализируемых донозологических состояний были в силу отсутствия биохимически оправданных изменений разделены по индексу массы тела – интегральному признаку состоятельности метаболизма. Это сделано с учетом аксиоматичности многоуровневой организации метаболических процессов, где физиологический оптимум поддерживается таргетно на клеточном уровне, а компенсация нарастающих девиаций требует «подключения» управляющей системы – нейрогуморальной, включая контур вегетативной регуляции, что находит отражение в изменении структур обеспечения метаболического гомеостаза.

Осуществлена оценка резерва и устойчивости регуляторных метаболических систем в анализе потенциально-го кардиометаболического риска у лиц с фенотипом «метаболически здорового ожирения».

Проведено одномоментное поперечное обследование сплошной выборки здоровых добровольцев в возрасте от 18 до 43 лет с индексом массы тела от 18,5 до 30,0 кг/м² и верифицированным диагнозом «здоров». Общепринятыми лабораторными методами исследования проводился биохимический анализ крови через час после стандартизованного приема пищи, дополнительно в плазме крови определяли содержание инсулина и кортизола. При оценке реакции метаболического статуса состояния уровня здоровья в качестве универсального раздражителя использована стандартизированная пищевая нагрузка, позволившая выявить максимумы задействованности регуляторов метаболизма или «напряженность» системы.

Проведенный анализ характеристики силы статистической связи между анализируемыми величинами наглядно продемонстрировал, что у здоровых добровольцев с увеличением массы тела и присоединением гиперинсулинемии происходит поступательное вовлечение более «высокого» уровня регуляции обменных процессов: от первого уровня, клеточного, запускающего строго обозначенную конкретную реакцию для достижения определенного физиологического эффекта и определяющего точечный контроль, через органной, характеризующий нарастающее напряжение локальных взаимодействий, к организменному – с формированием физиологических реакций, ориентированных на долговременные эффекты.

© Ксенева С.И., Трифонова О.Ю., Пыхтунова Е.А., Золотарев А.А., Удут В.В., 2026

Ксенева Светлана Игоревна – доктор медицинских наук, главный врач клиники (e-mail: viksbest@mail.ru; тел.: 8 (382) 241-88-93; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5448-3752>).

Трифонова Ольга Юрьевна – доктор медицинских наук, кардиолог клиники (e-mail: trifonova61@mail.ru; тел. 8 (382) 241-88-82; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9425-5765>).

Золотарев Алексей Александрович – аспирант лаборатории физиологии, молекулярной и клинической фармакологии (e-mail: zolotarevf_aleksey@inbox.ru; тел.: 8 (382) 241-88-82; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8878-9524>).

Пыхтунова Екатерина Александровна – клинический фармаколог клиники (e-mail: p.ekaterina92@mail.ru; тел.: 8 (382) 241-88-82; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8741-0722>).

Удут Владимир Васильевич – член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной и лечебной работе (e-mail: udutv@mail.ru; тел.: 8 (382) 241-83-74; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3829-7132>).

Нейрогормональное переподчинение регуляции метаболизма при гиперинсулинемии знаменует собой функциональный рубеж в эволюции «метаболически здорового ожирения». Этот процесс является центральным звеном в индивидуальной траектории риска, маркируя переход от состояния компенсированного псевдоздоровья к фазе активного формирования донозологических нарушений. Его выявление и оценка должны составлять основу персонализированной стратификации риска и своевременного профилактического вмешательства.

Ключевые слова: метаболически нейтральное ожирение, регуляция обмена веществ, метаболический синдром, сахарный диабет, метаболический фенотип, гормоны, инсулин, кортизол.

В научной литературе всё большее распространение получает концепция «метаболически здорового ожирения». Этот термин описывает состояние, при котором у человека имеется избыточная масса тела, но отсутствуют клинически значимые метаболические нарушения (дислипидемия, нарушенная резистентность к инсулину и др.) [1–3]. Согласно данным проспективных исследований, в течение шестилетнего периода от 30 до 40 % лиц с метаболически здоровым фенотипом ожирения трансформируются в категорию с метаболически нездоровым статусом [4]. Полученные результаты свидетельствуют, что феномен «метаболически здорового ожирения» представляет собой, по-видимому, транзитное состояние. Под воздействием дополнительных факторов риска оно способно эволюционировать в метаболически нездоровую форму [5, 6]. Механизмы метаболической регуляции у людей с «метаболически нейтральным» ожирением представляют особый научный интерес. В здоровом организме обмен веществ – это саморегулирующаяся система с четкой иерархией. Ключевыми являются три уровня контроля: клеточный – осуществляется через секрецию биологически активных веществ, которые взаимодействуют с рецепторами собственной или соседних клеток; системный – обеспечивает поддержание постоянства внутренней среды органов; организменный – поддерживает гомеостаз за счет интеграции нервной и гуморальной регуляции [7]. Каждый вышестоящий уровень регуляции координирует деятельность нижележащих, активируясь в ответ на изменения внешней среды. Простейшим примером изменения внешней среды может служить стандартный прием пищи, покрывающий базовые потребности человека, при этом механизм метаболической регуляции поддерживает гомеостаз, балансируя три ключевых процесса: приток веществ и энергии в клетку, их депонирование и элиминацию конечных продуктов обмена. Меняется ли иерархия регуляции обмена веществ у лиц с «метаболически нейтральным» ожирением – вопрос, который может лежать в основе этого феномена и, соответственно, методах превенции перехода его в метаболически неблагоприятный статус.

Цель исследования – оценка изменения структур регуляции метаболических процессов у здоровых добровольцев, различающихся массой тела и гормональным статусом, в условиях стандартизированной пищевой нагрузки.

Материалы и методы. Исследование было организовано на клинической базе НИИФиРМ

им. Е.Д. Гольдберга ТНИМЦ и представляло собой одномоментное поперечное исследование сплошной выборки. В него были включены 34 условно здоровых добровольца в возрасте 18–43 лет (19 мужчин и 15 женщин). Перед началом работы каждый участник подписал информированное добровольное согласие, одобренное локальным этическим комитетом (протокол № 12 от 28.12.2022), что соответствует принципам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации.

Отбор участников проводился по следующим критериям: европеоидная раса, отказ от курения за 6 месяцев до исследования, подтвержденное отсутствие соматической патологии по данным комплексного обследования и индекс массы тела в интервале 18,5–30,0 кг/м². Выполнялся стандартный диагностический комплекс: анализ жалоб, сбор анамнеза и физикальный осмотр. В ходе осмотра проводили антропометрию с измерением роста и массы тела для вычисления ИМТ по классической формуле.

Биохимический анализ плазмы крови выполнялся через 60 мин после нагрузки пищей калорийностью 500 ккал. Содержание инсулина и кортизола определялось с помощью коммерческих ИФА-наборов на ридере Stat Fax 2100 (AWARENESS TECHNOLOGY Inc., USA) по протоколам производителей. В частности, уровень инсулина измеряли с использованием тест-системы DRG International, Inc. (Германия). Измерения представлены в мкЕД/мл для инсулина и мкг/дл для кортизола.

Полученные результаты были подвергнуты вариационно-статистическому анализу. Количественные показатели выражены в виде $M \pm m$ (среднее арифметическое \pm стандартная ошибка среднего). Для определения тесноты связи между параметрами в зависимости от характера их распределения рассчитывали коэффициент корреляции Пирсона (R) с соответствующими поправками или коэффициент Спирмена (ρ). Анализу подлежали исключительно сильные корреляции ($R > 0,6$), отражающие жесткую линейную зависимость между анализируемыми переменными.

Результаты и их обсуждение. В данную статью включены результаты одномоментного поперечного исследования, в рамках которого обследована сплошная выборка здоровых добровольцев, не имеющих ожирения. Исследование биохимических и гормональных показателей проводилось через час после стандартизированного приема пищи в 500 ккал. Считается, что с 10–15-й мин после прие-

ма пищи у здоровых лиц наблюдается выраженное повышение инсулина, что способствует компенсации возникшей гипергликемии, но через 60 мин уже должны регистрироваться нормальные значения глюкозы и инсулина [5]. В проведенном нами исследовании мы получили результат, отличный от ожидаемого, – у 10 добровольцев отмечался повышенный уровень глюкозы, максимально до 8,3 ммоль/л, а у 14 человек уровень инсулина составил от 25 до 85,5 мкЕД/мл. Не представлялось возможности использовать полученные данные для диагностики инсулинорезистентности, так как ее оценка производится по расчетным индексам, основанным на отношении тощаковых (базальных) значений имунореактивного инсулина и глюкозы плазмы натощак. Для понимания полученных результатов для анализа данных добровольцы были разделены по индексу массы тела (ИМТ) на две группы: с нормальной массой тела (ИМТ от 18,50 до 24,99 кг/м²) – 13 человек, и с повышенной массой тела (ИМТ выше 25–29,99 кг/м²) – 21 доброволец. По результатам данных гормонального обследования из группы добровольцев с повышенной массой тела была дополнительно выделена еще одна группа – имеющие отклонения в уровне инсулина от референсных значений (табл. 1).

В каждой из трех подгрупп здоровых добровольцев был проведен анализ данных для оценки показателей, характеризующих силу статистической связи между двумя любыми величинами (рис. 1).

У здоровых добровольцев с ИМТ от 18,50 до 24,99 кг/м² было выявлено восемь положительных корреляционных связей ($R > 0,6$, рис. 1), при этом все показанные взаимосвязи объяснимы с точки зрения нормальной физиологии. Понятна взаимосвязь уровня триглицеридов со скрининговыми маркерами функционирования печени: повышение уровня триглицеридов закономерно отражается на показателях работы печени, реализующей энергетическую и пластическую функцию липидов в организме. Повышение уровня глюкозы в крови после приема пищи является физиологическим стимулом для секреции инсулина β -клетками поджелудочной железы, в норме эти два показателя находятся в неразрывной связи [9, 10]. Наблюдаемые корреляции свидетельствуют о механизме точечного контроля: изменения параметров внутренней среды избирательно активируют физиологические процессы, направленные на удовлетворение конкретной потребности и достижение заданного эффекта. Механизм такого контроля является основой метаболической гибкости. В оценке индивидуальных рисков наличие такого паттерна реакций следует интерпретировать как признак адекватного адаптационного ответа и важный позитивный компонент в общей картине функционального состояния организма, снижающий уязвимость к сбоям.

У добровольцев с ИМТ 25,0–29,9 кг/м² выявлено 17 корреляционных связей ($R > 0,6$), три из них – отрицательные (рис. 2).

Таблица 1

Результаты обследования добровольцев в зависимости от индекса массы тела и уровня инсулина

Показатель	Все добровольцы, принявшие участие в исследовании, $n = 34 (M \pm m)$	Добровольцы с ИМТ от 18,50 до 24,99 кг/м ² , $n = 13 (M \pm m)$	Добровольцы с ИМТ от 24,99 до 29,99 кг/м ² , $n = 21 (M \pm m)$	Добровольцы с ИМТ от 24,99 до 29,99 кг/м ² и уровнем инсулина плазмы более 25 мкЕД/мл, $n = 10 (M \pm m)$
Возраст, лет	30,76 ± 6,5	29,24 ± 6,6	33,42 ± 5,62	34,17 ± 3,87
Рост, см	172,61 ± 8,37	170,86 ± 7,02	175,67 ± 9,92	178 ± 10,33
Вес, кг	72,64 ± 14,19	65 ± 7,87	86,0 ± 12,92	86,83 ± 14,37
ИМТ, кг/м ²	24,21 ± 3,2	22,21 ± 1,73	27,72 ± 1,78	27,2 ± 1,7
Инсулин, мкЕД/мл	27,48 ± 19,51	24,66 ± 17,16	32,4 ± 23,02	50,62 ± 18,74
Кортизол, мкг/дл	6,44 ± 2,71	6,46 ± 3,08	6,42 ± 2,04	6,4 ± 2,91
Глюкоза, ммоль/л	5,72 ± 1,02	5,63 ± 0,89	5,86 ± 1,26	6,53 ± 1,53
Общий холестерин, ммоль/л	4,13 ± 0,89	3,95 ± 0,69	4,45 ± 1,12	4,02 ± 0,99
Триглицериды, ммоль/л	1,43 ± 0,86	1,11 ± 0,58	1,99 ± 1,0	1,93 ± 0,99
Аспартаминотрансфераза, Ед/л	17,18 ± 7,36	15,92 ± 3,91	19,38 ± 11,03	15,88 ± 1,86
Аланинаминотрансфераза, Ед/л	15,84 ± 9,2	14,11 ± 7,76	18,86 ± 11,01	15,87 ± 6,46
Общий белок, г/л	65,12 ± 3,04	65,54 ± 3,19	64,38 ± 2,73	63,33 ± 2,28
Общий билирубин, мкмоль/л	9,56 ± 6,22	10,6 ± 6,97	7,74 ± 4,31	8,65 ± 5,82
Мочевина, ммоль/л	3,55 ± 0,69	3,43 ± 0,73	3,75 ± 0,61	3,63 ± 0,76
Мочевая кислота, мкмоль/л	268,48 ± 58,85	252,67 ± 49,18	296,17 ± 66,07	280,67 ± 43,01
Креатинин, мкмоль/л	67,55 ± 11,11	65,29 ± 10,67	71,5 ± 11,2	75,33 ± 8,59
Щелочная фосфатаза, Ед/л	55,21 ± 20,4	53,66 ± 23,79	57,93 ± 12,98	60,52 ± 13,4
ГГТП, Ед/л	18,13 ± 10,65	15,97 ± 9,18	21,92 ± 12,33	22,37 ± 15,75
Калий, ммоль/л	4,39 ± 0,31	4,43 ± 0,34	4,33 ± 0,25	4,27 ± 0,19

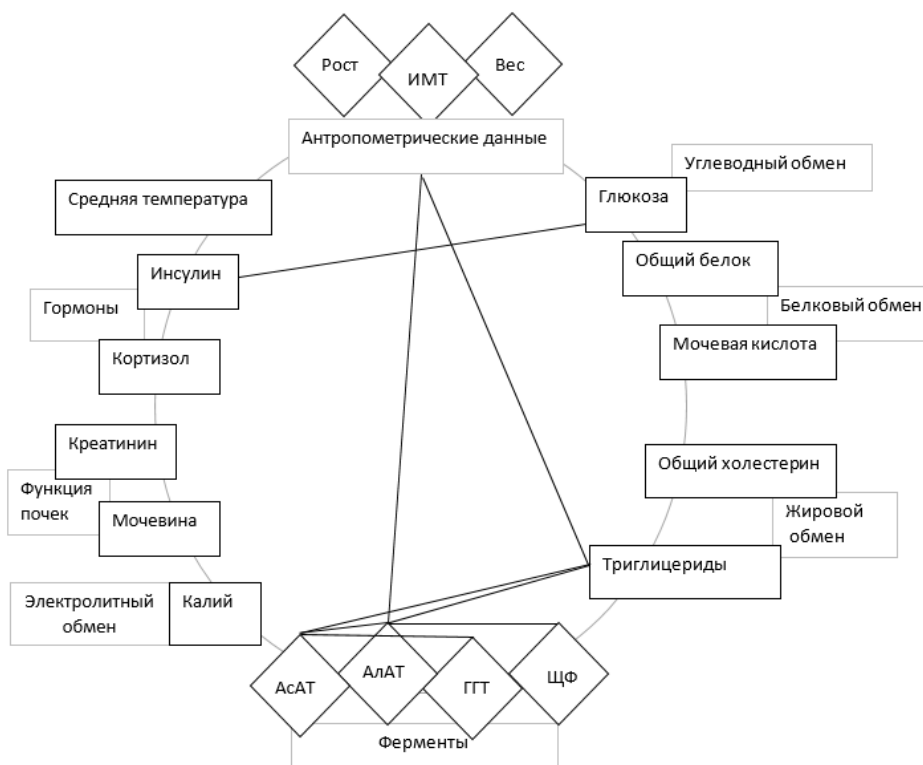


Рис. 1. Корреляционные связи ($R > 0,6$) между показателями у здоровых добровольцев с ИМТ 18,5–24,9 кг/м² (яркими линиями обозначены положительные связи, бледными – отрицательные)

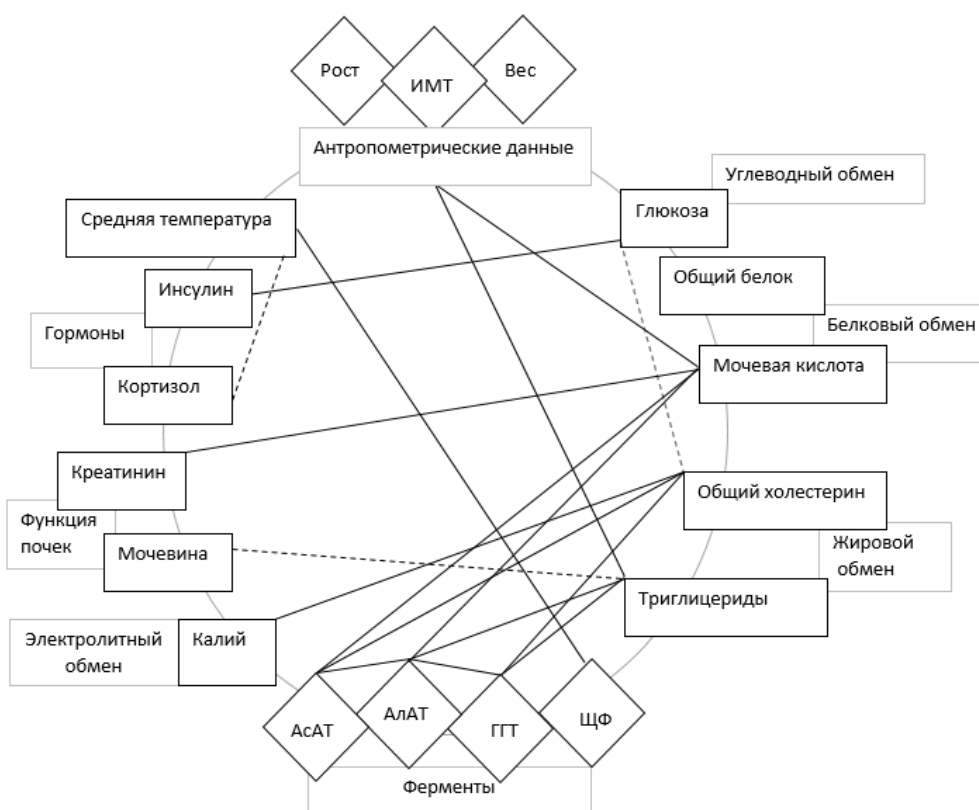


Рис. 2. Корреляционные связи ($R > 0,6$) между показателями у здоровых добровольцев с ИМТ 24,9–29,9 (сплошными линиями обозначены положительные связи, пунктирными – отрицательные)

Выявленные корреляции подтверждают глубокую взаимосвязь углеводного, белкового и липидного обменов. Эта интеграция основана на метаболических отношениях, в рамках которых нутриенты служат друг для друга субстратами и продуктами превращений, что обеспечивается единым энергообменом и совпадающими конечными продуктами катаболизма [7]. Процессы биосинтеза белков, липидов и полисахаридов конкурируют за источники энергии. Кроме того, пути их метаболизма тесно переплетены, поскольку используют общие предшественники и промежуточные продукты [11]. Появляются также объяснимые нормальной физиологией взаимосвязи. Концентрация мочевой кислоты, представляющей собой основной метаболит пуринового обмена, обнаруживает корреляцию с антропометрическими данными. Увеличение ИМТ приводит к интенсификации липогенеза, который усиливает функционирование пентозофосфатного пути. Следствием данной активации является накопление рибозо-5-фосфата – важнейшего промежуточного соединения для последующего образования пуриновых оснований [12]. Выявленная отрицательная направленность корреляционной связи между уровнем мочевины в плазме крови и триглицеридами в группе здоровых добровольцев с ИМТ 24,9–29,9 кг/м² можно объяснить доминированием метаболической активности гепатоцитов в отношении липидного обмена над их пластической функцией: синтезом мочевины, являющейся конечным продуктом катаболизма белков. На этом уровне наглядно продемонстрирована центральная роль печени в координации обменных процессов и поддержании гомеостаза [13]. Печень интегрирует метаболические сигналы из системного кровотока и выступает главным регулятором гомеостаза глюкозы и аминокислот. Важнейшим аспектом ее работы является адаптация обмена веществ к характеру питания, которая достигается, в частности, путем направления потоков питательных веществ, в том числе посредством перераспределения потоков питательных веществ между разными органами и тканями [14]. Напряженность тканевых механизмов, направленных на удовлетворение энергетических потребностей организма, проявляется в выявленных взаимосвязях между маркерами катаболизма и показателями основных видов обмена. Так, катаболизм жиров включает в себя липолиз до глицерина и жирных кислот для дальнейшего ресинтеза триглицеридов или включение продукта его окисления в гликолиз или в глюконеогенез [15], поэтому неожиданным оказалось выявление отрицательной корреляционной взаимосвязи между уровнем глюкозы крови и концентрацией общего холестерина. Вероятно, у здоровых добровольцев отмечается более длительное, чем в группе добровольцев с нормальным ИМТ, но все же физиологическое повышение уровня глюкозы после приема пищи, однако механизм потребления ее избытка инсулинзависимыми тканями не нарушен. Полученные данные свиде-

тельствуют, что у лиц с избыточной массой тела сохранена физиологическая способность к утилизации глюкозы, однако регуляция этого процесса требует большего функционального напряжения метаболических и управляющих систем. Наблюдаемые корреляции отражают компенсаторную мобилизацию резервов для поддержания гомеостаза. Подобное состояние повышенного функционального напряжения можно рассматривать как маркер снижения адаптационного резерва и, вследствие этого, фактор потенциального риска срыва компенсации при дополнительной нагрузке.

В группе добровольцев с ИМТ 25,0–29,9 кг/м² и уровнем инсулина более 25 мкЕД/мл выявлено 46 корреляционных связей ($R > 0,6$), при этом 18 – отрицательных (рис. 3).

Обнаружены множественная взаимосвязь уровня мочевины с обменными процессами, отражающая общий конечный путь диссимиляции для углеводного, липидного и белкового обменов. Метаболический путь окисления ацетил-КоА в цикле трикарбоновых кислот выполняет две фундаментальные функции. В ходе этого цикла генерируются восстановительные эквиваленты (НАД⁺Н и НАДФ⁺Н), которые направляются в дыхательную цепь для производства АТФ, при этом конечным продуктом окисления является СО₂. Углекислый газ является важным строительным блоком для последующих реакций анаболизма, включая образование малонил-КоА для синтеза жирных кислот, а также биосинтез мочевины, пуринов и пиримидинов. Таким образом, мочевина является тем метаболитом, который непосредственно связывает конечные продукты обмена основных нутриентов – углекислый газ и аммиак.

В дополнение к выявленным ранее появляются дополнительные множественные связи между показателями обменов веществ и биохимических печеночных тестов. Принимая во внимание, что у данных добровольцев отмечается повышенный уровень инсулина, что отличает их от добровольцев первых двух групп, стоит акцентировать внимание на анаболическом эффекте инсулина, способствующего синтезу и накоплению гликогена и жира в тканях. Регуляторная функция инсулина проявляется в стимуляции потребления и окисления глюкозы, а также в усилении синтеза гликогена, одновременно с чем он угнетает гликогенолиз и глюконеогенез. Наряду с влиянием на углеводный обмен, инсулин активизирует липогенез из метаболитов углеводов и подавляет процесс липолиза, тем самым регулируя и жировой обмен [16]. Способствуя утилизации глюкозы, инсулин также создает субстратную базу для протеиногенеза, ускоряя синтез белков из производных углеводного обмена. Совместное действие этих механизмов реализует гипогликемический эффект инсулина – снижение содержания глюкозы в крови. Действие инсулина в печени переключает метаболизм с катаболизма на анаболизм: подавление

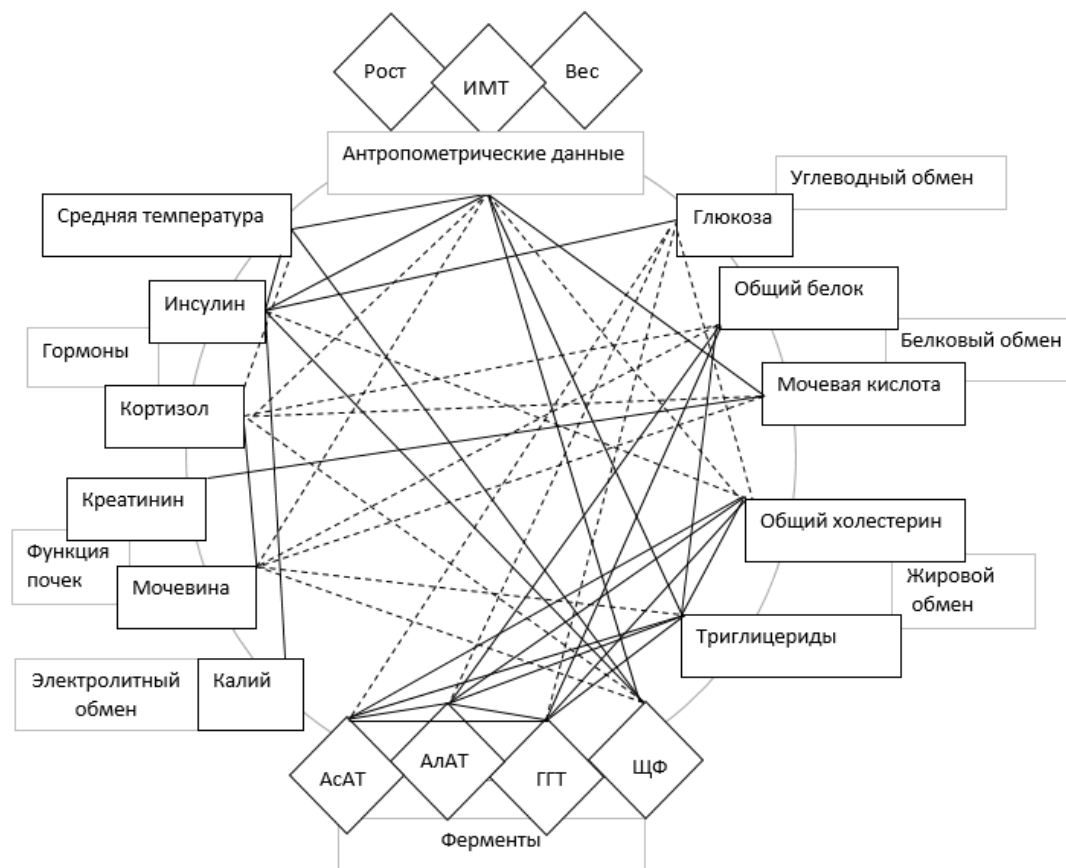


Рис. 3. Корреляционные связи ($R > 0,6$) между показателями у здоровых добровольцев с ИМТ 24,9–29,9 кг/м² и уровнем инсулина более 25 мкЕД/мл (сплошными линиями обозначены положительные связи, пунктирными – отрицательные)

гликогенфосфорилазы способствует накоплению гликогена, а активация гликолиза обеспечивает образование ацетил-КоА для последующего синтеза липидов [17]. Инсулин блокирует синтез глюкозы, инактивируя ферменты глюконеогенеза. Одновременно он усиливает липогенез за счет активации ацетил-КоА-карбоксилазы, что приводит к накоплению малонил-КоА – ключевого промежуточного продукта в образовании жирных кислот, и одновременно ингибирует липопротеинлипазу, ответственную за гидролиз триглицеридов [18]. Возможное объяснение появившимся отрицательным связям в этой группе добровольцев между уровнем глюкозы, общим холестерином и показателями ферментативной активности печени может быть в формировании инсулинорезистентности при избыточной массе тела, когда в жировой ткани развивается резистентность к антилиполитическому действию инсулина. Высвобождение свободных жирных кислот в воротную вену является результатом усиленного липолиза в висцеральных жировых клетках. В печени эти кислоты не только стимулируют продукцию атерогенных липопротеинов, но и вызывают инсулинорезистентность, блокируя связывание инсулина. Как следствие, синтез гликогена подавляется, тогда как его распад и глюконеогенез, напротив, активизируются.

Особый интерес представляет появившаяся интеграция кортизола в регуляцию обменных процессов. Безусловно, поддержание гомеостаза требует сложного взаимодействия ряда органов и систем организма, включая нейроэндокринную [19]. Данное проявление нейрогормональной регуляции подчеркивает ее системный характер – способность координировать работу разнообразных клеток. Это отражает уровень напряжения регуляторных механизмов, необходимый для поддержания гомеостаза, и определяет функциональное состояние организма через формирование физиологических реакций долговременного действия. Данный сдвиг регуляторного паттерна можно рассматривать как процесс метаболического перепрограммирования, направленный на поддержание равновесия, но одновременно повышающий уязвимость организма к дисфункции при хроническом перенапряжении. Таким образом, активность этого нейроэндокринного контура регуляции становится значимым прогностическим фактором, определяющим индивидуальную траекторию здоровья или риска в долгосрочной перспективе.

Выводы. Приведенные данные по структурам регуляции метаболических процессов у здоровых добровольцев в зависимости от ИМТ и гормонального статуса позволили выявить принципиально различающиеся механизмы поддержания оптимума мета-

болических процессов. Показано, что при ИМТ от 18,50 до 24,9 кг/м² реакция на стандартизированную пищевую нагрузку обеспечивается локально под контролем прямых действий продуктов метаболизма. При ИМТ от 25,0 до 29,9 кг/м² и нормальном гормональном статусе к утилизации метаболических субстратов углеводного ряда имеет место подключение вспомогательных метаболических путей жирового и белкового обменов при сохраняющейся локальной ауторегуляции. При присоединении нарушений гормонального статуса у здоровых добровольцев с ИМТ от 25,0 до 29,9 кг/м² в ответ на стандартизированную пищевую нагрузку к метаболической регуляции *in situ* имеет место подключение нейрогуморального контура организма. Предельная сложность с сохранением физиологичности регуляции метаболических

процессов в этой группе здоровых добровольцев чревата высоким риском возникновения нарушений и развитием патологических процессов. Таким образом, феномен «метаболически здорового ожирения» следует квалифицировать как состояние латентного риска, требующее динамического надзора и углубленной персонализированной оценки резервов адаптации. Поиск предикторов исчерпания компенсаторных возможностей, а не единого триггера, является приоритетной задачей для своевременного управления кардиометаболическим риском в этой популяции.

Финансирование. Источник финансирования исследования не предусмотрен.

Конфликт интересов. Авторы статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Blüher M. Metabolically healthy obesity // *Endocr. Rev.* – 2020. – Vol. 41, № 3. – P. bnaa004. DOI: 10.1210/edrv/bnaa004
2. Metabolically healthy obesity and metabolically obese normal weight: a review / S. Gómez-Zorita, M. Queralt, M.A. Vicente, M. González, M.P. Portillo // *J. Physiol. Biochem.* – 2021. – Vol. 77, № 1. – P. 175–189. DOI: 10.1007/s13105-020-00781-x
3. April-Sanders A.K., Rodriguez C.J. Metabolically Healthy Obesity Redefined // *JAMA Netw. Open.* – 2021. – Vol. 4, № 5. – P. e218860. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.8860
4. Metabolically healthy but obese, a matter of time? Findings from the prospective Pizarra study / F. Soriguer, C. Gutiérrez-Repiso, E. Rubio-Martín, E. García-Fuentes, M.C. Almaraz, N. Colomo, I.E. de Antonio, M.S.R. de Adana [et al.] // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* – 2013. – Vol. 98, № 6. – P. 2318–2325. DOI: 10.1210/jc.2012-4253
5. Метаболически здоровое ожирение: предикторы трансформации в нездоровый фенотип в популяции жителей Санкт-Петербурга (по данным исследования ЭССЕ-РФ) / М.А. Бояринова, О.П. Ротарь, А.М. Ерина, Н.А. Паскарь, А.С. Алиева, Е.В. Могучая, Е.П. Колесова, А.О. Конради // *Артериальная гипертензия.* – 2021. – Т. 27, № 3. – С. 279–290. DOI: 10.18705/1607-419X-2021-27-3-279-290
6. Metabolically Healthy Obesity (MHO) vs. Metabolically Unhealthy Obesity (MUO) Phenotypes in PCOS: Association with Endocrine-Metabolic Profile, Adherence to the Mediterranean Diet, and Body Composition / L. Barrea, G. Muscogiuri, G. Pugliese, G. de Alteriis, A. Colao, S. Savastano // *Nutrients.* – 2021. – Vol. 13, № 11. – P. 3925. DOI: 10.3390/nu13113925
7. Imai J., Katagiri H. Regulation of systemic metabolism by the autonomic nervous system consisting of afferent and efferent innervation // *International Immunology.* – 2021. – Vol. 34, № 2. – P. 67–79. DOI: 10.1093/intimm/dxab023
8. Аметов А.С. Инсулиносекретия и инсулинорезистентность: две стороны одной медали // *Проблемы эндокринологии.* – 2002. – Т. 48, № 3. – С. 31–37. DOI: 10.14341/probl11613
9. Klimontov V.V., Saik O.V., Korbut A.I. Glucose Variability: How Does It Work? // *Int. J. Mol. Sci.* – 2021. – Vol. 22, № 15. – P. 7783. DOI: 10.3390/ijms22157783
10. Holst J.J., Gasbjerg L.S., Rosenkilde M.M. The Role of Incretins on Insulin Function and Glucose Homeostasis // *Endocrinology.* – 2021. – Vol. 162, № 7. – P. bqab065. DOI: 10.1210/edocr/bqab065
11. Billman G.E. Homeostasis: The underappreciated and far too often ignored central organizing principle of physiology // *Front. Physiol.* – 2020. – Vol. 11. – P. 200. DOI: 10.3389/fphys.2020.00200
12. Адашева Т.В., Демичева О.Ю. Метаболический синдром – основы патогенетической терапии // *Лечащий врач.* – 2003. – № 10. – С. 24–28.
13. The energy balance model of obesity: beyond calories in, calories out / K.D. Hall, I.S. Farooqi, J.M. Friedman, S. Klein, R.J.F. Loos, D.J. Mangelsdorf, S. O'Rahilly, E. Ravussin [et al.] // *Am. J. Clin. Nutr.* – 2022. – Vol. 115, № 5. – P. 1243–1254. DOI: 10.1093/ajcn/nqac031
14. Regulation of Postabsorptive and Postprandial Glucose Metabolism by Insulin-Dependent and Insulin-Independent Mechanisms: An Integrative Approach. / G.D. Dimitriadis, E. Maratou, A. Kountouri, M. Board, V. Lambadiari // *Nutrients.* – 2021. – Vol. 13, № 1. – P. 159. DOI: 10.3390/nu13010159
15. Alghannam A.F., Ghaith M.M., Alhussain M.H. Regulation of energy substrate metabolism in endurance exercise // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2021. – Vol. 18, № 9. – P. 4963. DOI: 10.3390/ijerph18094963
16. Lipolysis: cellular mechanisms for lipid mobilization from fat stores / G.F. Grabner, H. Xie, M. Schweiger, R. Zechner // *Nat. Metab.* – 2021. – Vol. 3, № 11. – P. 1445–1465. DOI: 10.1038/s42255-021-00493-6
17. Acetyl-CoA Carboxylases and Diseases / Y. Wang, W. Yu, S. Li, D. Guo, J. He, Y. Wang // *Front. Oncol.* – 2022. – Vol. 12. – P. 836058. DOI: 10.3389/fonc.2022.836058
18. Ткачук В.А., Воротников А.В. Молекулярные механизмы развития резистентности к инсулину // *Сахарный диабет.* – 2014. – Т. 17, № 2. – С. 29–40. DOI: 10.14341/DM2014229-40
19. Wilson D.F., Matschinsky F.M. Metabolic homeostasis in life as we know it: Its origin and thermodynamic basis // *Front. Physiol.* – 2021. – Vol. 12. – P. 658997. DOI: 10.3389/fphys.2021.658997

Феномен «метаболически здорового ожирения» как состояние латентного риска здоровью / С.И. Ксенева, О.Ю. Трифонова, Е.А. Пыхтунова, А.А. Золотарев, В.В. Удун // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 125–133. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.12



Research article

METABOLICALLY HEALTHY OBESITY AS A LATENT HEALTH RISK**S.I. Kseneva¹, O.Y. Trifonova¹, E.A. Pykhtunova¹, A.A. Zolotarev¹, V.V. Udut^{1,2}**¹Goldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine of Tomsk National Research Medical Centre of the Russian Academy of Sciences, 3 Lenina Ave., Tomsk, 634028, Russian Federation²National Research Tomsk State University, 36 Lenina Ave., Tomsk, 634050, Russian Federation

The phenomenon of 'metabolically healthy obesity' is of great interest to researchers around the world. This is determined by two complementary standpoints: 1) the investigated obesity phenotype, under exposure to additional risk factors, may represent an intermediate state leading to 'metabolic unhealthiness'; and 2) if this is true, this phenotype is a research object for searching triggers of diseases prevention. Due to absence of biochemically substantiated changes, groups of analyzed pre-nosologic states were divided per body mass index as an inherent characteristic of metabolism effectiveness. It was done considering the obviously multi-level structure of metabolic processes where the physiological optimum as the main target is maintained at the cellular level and compensation for growing deviations requires involvement of the managing neurohumoral system, vegetative regulation included. This is manifested through changes in structures that support metabolic homeostasis.

The aim of this study was to estimate the reserve and stability of regulatory metabolic systems within analyzing potential cardiometabolic risks for people with 'metabolically healthy obesity'.

A single-time cross-sectional study was conducted on a continuous sample of 34 healthy volunteers aged 18 to 43 years with body mass index of 18.5 to 30.0 kg/m² and a verified diagnosis of 'healthy'. Using standard laboratory methods, biochemical blood tests were performed one hour after a standardized meal, and insulin and cortisol levels were additionally determined in blood plasma. Standardized food load was used as a universal irritant in estimating changes in the metabolic status as a health measure. This allowed us to reveal the maximum involvement of metabolic regulators or the system 'tension'.

Upon analyzing strength of statistical relationships between analyzed indicators, it became clear that 'higher' levels of metabolic regulations were steadily more involved in healthy volunteers as their body weight grew and hyperinsulinemia occurred. This involvement grew from the first cellular level that induced a strictly identified specific response aimed at achieving a justified physiological effect and determined point control through the organ level where local interactions became more tensed to the body level where physiological responses occurred with their orientation at long-term effects.

When control over metabolism regulation goes to the neurohumoral system in hyperinsulinemia presence, this means a certain functional mark in evolution of 'metabolically healthy obesity'. This process is the key link in an individual risk trajectory since it marks the transition from compensated pseudo-health to a phase when pre-nosologic disorders are formed quite actively. Personalized risk stratification and timely preventive interventions should rely on revealing and estimating this process.

Keywords: metabolically healthy obesity, metabolism regulation, metabolic syndrome, diabetes mellitus, metabolic phenotype, hormones, insulin, cortisol.

References

1. Blüher M. Metabolically healthy obesity. *Endocr. Rev.*, 2020, vol. 41, no. 3, pp. bnaa004. DOI: 10.1210/edrv/bnaa004
2. Gómez-Zorita S., Queralt M., Vicente M.A., González M., Portillo M.P. Metabolically healthy obesity and metabolically obese normal weight: a review. *J. Physiol. Biochem.*, 2021, vol. 77, no. 1, pp. 175–189. DOI: 10.1007/s13105-020-00781-x

© Kseneva S.I., Trifonova O.Y., Pykhtunova E.A., Zolotarev A.A., Udut V.V., 2026

Svetlana I. Kseneva – Doctor of Medical Sciences, Chief Physician (e-mail: viksbest@mail.ru; tel.: +7 (382) 241-88-93; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5448-3752>).

Olga Yu. Trifonova – Doctor of Medical Sciences, Cardiologist (e-mail: trifonova61@mail.ru; tel.: +7 (382) 241-88-82; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9425-5765>).

Aleksey A. Zolotarev – post-graduate student at the Laboratory of Physiology, Molecular and Clinical Pharmacology (e-mail: zolotarevf_aleksey@inbox.ru; tel.: +7 (382) 241-88-82; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8878-9524>).

Ekaterina A. Pykhtunova – clinical pharmacologist (e-mail: p.ekaterina92@mail.ru; tel.: +7 (382) 241-88-82; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8741-0722>).

Vladimir V. Udut – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific and Therapeutic Work (e-mail: udutv@mail.ru; tel.: +7 (382) 241-83-74; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3829-7132>).

3. April-Sanders A.K., Rodriguez C.J. Metabolically Healthy Obesity Redefined. *JAMA Netw. Open*, 2021, vol. 4, no. 5, pp. e218860. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.8860
4. Soriguer F., Gutiérrez-Repiso C., Rubio-Martín E., García-Fuentes E., Almaraz M.C., Colomo N., de Antonio I.E., de Adana M.S.R. [et al.]. Metabolically healthy but obese, a matter of time? Findings from the prospective Pizarra study. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 2013, vol. 98, no. 6, pp. 2318–2325. DOI: 10.1210/jc.2012-4253
5. Boyarinova M.A., Rotar O.P., Erina A.M., Paskar N.A., Alieva A.S., Moguchaia E.V., Kolesova E.P., Konradi A.O. Metabolically healthy obesity: predictors of transformation to unhealthy phenotype in St Petersburg population (according to the ESSE-RF study). *Arterial'naya gipertenziya*, 2021, vol. 27, no. 3, pp. 279–290. DOI: 10.18705/1607-419X-2021-27-3-279-290 (in Russian).
6. Barrea L., Muscogiuri G., Pugliese G., de Alteriis G., Colao A., Savastano S. Metabolically Healthy Obesity (MHO) vs. Metabolically Unhealthy Obesity (MUO) Phenotypes in PCOS: Association with Endocrine-Metabolic Profile, Adherence to the Mediterranean Diet, and Body Composition. *Nutrients*, 2021, vol. 13, no. 11, pp. 3925. DOI: 10.3390/nu13113925
7. Imai J., Katagiri H. Regulation of systemic metabolism by the autonomic nervous system consisting of afferent and efferent innervation. *International Immunology*, 2022, vol. 34, no. 2, pp. 67–79. DOI: 10.1093/intimm/dxab023
8. Ametov A.S. Insulin secretion and insulin resistance: two sides of one medal. *Problemy endokrinologii*, 2002, vol. 48, no. 3, pp. 31–37. DOI: 10.14341/probl11613 (in Russian).
9. Klimontov V.V., Saik O.V., Korbuz A.I. Glucose Variability: How Does It Work? *Int. J. Mol. Sci.*, 2021, vol. 22, no. 15, pp. 7783. DOI: 10.3390/ijms22157783
10. Holst J.J., Gasbjerg L.S., Rosenkilde M.M. The Role of Incretins on Insulin Function and Glucose Homeostasis. *Endocrinology*, 2021, vol. 162, no. 7, pp. bqab065. DOI: 10.1210/endoqr/bqab065
11. Billman G.E. Homeostasis: The underappreciated and far too often ignored central organizing principle of physiology. *Front. Physiol.*, 2020, vol. 11, pp. 200. DOI: 10.3389/fphys.2020.00200
12. Adasheva T.V., Demicheva O.Yu. Metabolicheskii sindrom – osnovy patogeneticheskoi terapii [Metabolic syndrome – the basis of pathogenetic therapy]. *Lechashchii vrach*, 2003, no. 10, pp. 24–28 (in Russian).
13. Hall K.D., Farooqi I.S., Friedman J.M., Klein S., Loos R.J.F., Mangelsdorf D.J., O'Rahilly S., Ravussin E. [et al.]. The energy balance model of obesity: beyond calories in, calories out. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2022, vol. 115, no. 5, pp. 1243–1254. DOI: 10.1093/ajcn/nqac031
14. Dimitriadis G.D., Maratou E., Kountouri A., Board M., Lambadiari V. Regulation of Postabsorptive and Postprandial Glucose Metabolism by Insulin-Dependent and Insulin-Independent Mechanisms: An Integrative Approach. *Nutrients*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 159. DOI: 10.3390/nu13010159
15. Alghannam A.F., Ghaith M.M., Alhussain M.H. Regulation of energy substrate metabolism in endurance exercise. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, no. 9, pp. 4963. DOI: 10.3390/ijerph18094963
16. Grabner G.F., Xie H., Schweiger M., Zechner R. Lipolysis: cellular mechanisms for lipid mobilization from fat stores. *Nat. Metab.*, 2021, vol. 3, no. 11, pp. 1445–1465. DOI: 10.1038/s42255-021-00493-6
17. Wang Y., Yu W., Li S., Guo D., He J., Wang Y. Acetyl-CoA Carboxylases and Diseases. *Front. Oncol.*, 2022, vol. 12, pp. 836058. DOI: 10.3389/fonc.2022.836058
18. Tkachuk V.A., Vorotnikov A.V. Molecular Mechanisms of Insulin Resistance Development. *Sakharnyi diabet*, vol. 17, no. 2, pp. 29–40. DOI: 10.14341/DM2014229-40 (in Russian).
19. Wilson D.F., Matschinsky F.M. Metabolic homeostasis in life as we know it: Its origin and thermodynamic basis. *Front. Physiol.*, 2021, vol. 12, pp. 658997. DOI: 10.3389/fphys.2021.658997

Kseneva S.I., Trifonova O.Yu., Pykhtunova E.A., Zolotarev A.A., Udut V.V. Metabolically healthy obesity as a latent health risk. Health Risk Analysis, 2026, no. 1, pp. 125–133. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.12.eng

Получена: 14.11.2025

Одобрена: 11.03.2026

Принята к публикации: 26.03.2026



Научная статья

К ИЗУЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ ЭКСТРАКТА МЕГАСТРОБИЛОВ *PICEA ABIES*

Д.К. Гуляев¹, Д.Ю. Апушкин^{1,2}, А.И. Андреев^{1,2}, Ю.В. Меланина¹, К.Е. Якушина¹, В.Д. Белоногова¹, Н.И. Гуляева³, Н.П. Логинова³, П.С. Машенко^{1,2}, Д.О. Семакин¹

¹Пермская государственная фармацевтическая академия, Российская Федерация, 614990, г. Пермь, ул. Полевая, 2

²Пермский государственный национальный исследовательский университет, Российская Федерация, 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

³Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера, Российская Федерация, 614000, г. Пермь, Петропавловская, 26

*Определен риск возникновения побочных реакций при применении водного экстракта мегастробилов *Picea abies* в течение трех месяцев с оценкой гистологии внутренних органов в эксперименте для выявления уровня безопасности на основе изучения хронической токсичности водного экстракта мегастробилов *Picea abies* на различные органы и ткани лабораторных животных.*

Мегастробилы *Picea abies* были заготовлены на территории Пермского края Российской Федерации в ельнике зеленомошно-травяном. Водный экстракт получали по ранее разработанной технологии. В эксперименте использовались белые лабораторные аутобредные крысы обоих полов стока линии Wistar. Исследуемый экстракт животным вводили ежедневно в течение трех месяцев. В качестве эквистрессового воздействия животным в контрольной группе вводилась дистиллированная вода. Элементный состав образцов костной ткани определяли с использованием рентгенофлуоресцентного метода на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре. Для микроскопического изучения у подопытных животных изымались органы: сердце, почки, желудок, тонкая кишка.

Хроническое пероральное введение водного экстракта мегастробилов *Picea abies* здоровым крысам без признаков воспаления не вызывало изменений в поведении, состоянии слизистых и волосяном покрове при сравнении исследуемых показателей в экспериментальной и контрольной группах животных, не получавшей экстракт. Исследование гистологического строения органов желудочно-кишечного тракта (желудок, тонкий кишечник) не выявило различий между экспериментальной и контрольной группами животных, а также не верифицировали различия в строении органов у самцов и самок в экспериментальной группе. В ходе эксперимента не установлено токсического воздействия водного экстракта мегастробилов *Picea abies* на сердце и почки. Результаты исследования фрагментов желудка и тонкого кишечника, а также сердца и почек крыс указывают на отсутствие различий между данными экспериментальной и контрольной групп. Исследования элементного состава показывают тенденцию к увеличению содержания кальция и фосфора в костях крыс на фоне применения экстракта.

© Гуляев Д.К., Апушкин Д.Ю., Андреев А.И., Меланина Ю.В., Якушина К.Е., Белоногова В.Д., Гуляева Н.И., Логинова Н.П., Машенко П.С., Семакин Д.О., 2026

Гуляев Дмитрий Константинович – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры фармакогнозии (e-mail: dkg2014@mail.ru; тел.: 8 (902) 807-10-04; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9464-1869>).

Апушкин Данила Юрьевич – младший научный сотрудник; старший преподаватель кафедры фармакологии и фармации (e-mail: apushkinjob@gmail.com; тел.: 8 (922) 375-95-09; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4459-5264>).

Андреев Александр Игоревич – младший научный сотрудник; старший преподаватель кафедры фармакологии и фармации (e-mail: mniium@yandex.ru; тел.: 8 (952) 652-75-61; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3718-4830>).

Меланина Юлия Владимировна – аспирант (e-mail: melanina.yuliya@mail.ru; тел.: 8 (919) 122-75-78; ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-7071-6459>).

Якушина Каролина Евгеньевна – аспирант (e-mail: karolina012012@mail.ru; тел.: 8 (912) 491-32-77; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3050-0220>).

Белоногова Валентина Дмитриевна – доктор фармацевтических наук, заведующий кафедрой фармакогнозии (e-mail: belonogovavd@yandex.ru; тел.: 8 (342) 236-90-50; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5193-3976>).

Гуляева Наталья Ивановна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры гистологии, эмбриологии и цитологии (e-mail: bizon55@mail.ru; тел.: 8 (909) 102-31-40; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0572-7594>).

Логинова Наталья Павловна – доктор медицинских наук, заведующий кафедрой гистологии, эмбриологии и цитологии (e-mail: loginova.np@psma.ru; тел.: 8 (902) 475-90-67; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8597-2682>).

Машенко Петр Сергеевич – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры токсикологической химии; доцент, заведующий кафедрой фармакологии и фармации (e-mail: petlya11@mail.ru; тел.: 8 (909) 104-41-44; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2259-7659>).

Семакин Дмитрий Олегович – кандидат фармацевтических наук, старший преподаватель кафедры фармакогнозии (e-mail: farm@dmitry-semakin.ru; тел.: 8 (982) 117-51-05; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9898-3479>).

Указанные характеристики позволяют заключить, что применение водного экстракта мегастробилов *Picea abies* в дозе 12 мг/кг в течение 12 недель не приводит к возникновению значимых нарушений как во внешних покровах, так и в строении внутренних органов экспериментальных животных.

Ключевые слова: мегастробилы, *Picea abies*, водный экстракт, прием внутрь, хроническая токсичность, гистология, массометрия, элементы в костях.

Результаты ранее проведенных исследований показали высокую противовоспалительную активность водного экстракта *Picea abies* мегастробилов [1]. Установлена его высокая антирадикальная активность по способности связывать свободный стабильный радикал 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил, сопоставимая по степени выраженности эффекта с известными антиоксидантами. Антирадикальная активность водного экстракта мегастробилов *Picea abies* наибольшая у экстрактов, полученных из сырья, заготовленного в период с сентября по март¹. Высокую антирадикальную активность водных и спиртовых извлечений мегастробилов хвойных растений подтверждают данные других исследований [2–5].

Проводится много исследований, направленных на изучение процесса всасывания процианидинов в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ). Мономерные единицы процианидинов – катехин и эпикатехин – способны всасываться в ЖКТ. Доказано, что скорость адсорбции процианидинов снижается по мере увеличения их молекулярной массы. Некоторые процианидины при попадании в желудок расщепляются под действием кислоты до олигомеров и мономеров [6–9].

Момеры процианидинов могут всасываться в тонком кишечнике, а олигомеры и полимеры разлагаются в толстом кишечнике под действием кишечной микрофлоры. Мономерные проантоцианидины могут всасываться парацеллюлярным путем благодаря своим гидрофобным свойствам, что позволяет им сохранять свою первоначальную структуру и проявлять активность [10, 11]. Всасыванию процианидинов может препятствовать совместный прием жирной пищи, замедляют их всасывание и углеводы, кроме того, при образовании комплексов с белками биодоступность процианидинов значительно снижается [12, 13].

В эпителиальных клетках происходит модификация процианидинов, метилирование и глюкуронирование, что приводит к повышению их биодоступности. После всасывания процианидины и их метаболиты попадают в печень, где могут быть дополнительно модифицированы ферментами [14]. Процианидины были обнаружены во всех органах включая головной мозг. Они способны проникать через гематоэнцефалический барьер и оказывать нейропротекторный эффект. В эксперименте, проведенном на крысах, после перорального приема 500 мг/кг процианидинов пиковая их концентрация в головном мозге достигалась

через 30 мин. При этом большая часть процианидинов выводится из организма с калом [12, 15].

Процианидины могут проявлять антикоагулянтную и антиагрегантную активность, что может повышать риск кровотечений и гематом. Введение высоких доз танинов и процианидинов может вызывать раздражение слизистой ЖКТ тракта [16]. При этом неизвестно, насколько может вызывать повреждение ЖКТ и образование гематом длительное введение экстракта, содержащего процианидины.

При определении острой токсичности водного экстракта *Picea abies* мегастробилов по методу В.В. Прозоровского установлено, что водный экстракт мегастробилов *Picea abies* относится к классу малотоксичных веществ со значением среднесмертельной дозы более 10 300 мг/кг [1]. Остается актуальным вопрос о том, какое влияние оказывает экстракт на разные системы органов при длительном введении в течение нескольких месяцев.

При оценке безопасности применения нового лекарственного средства необходимо учитывать не только его влияние на внутренние органы, поведение, характер слизистых, но и на элементный статус организма. Химические элементы являются важнейшей составляющей как растительного, так и животного организма. В составе водного экстракта мегастробилов *Picea abies* основной группой биологически активных веществ являются процианидины. Процианидины обладают сильной хелатирующей способностью по отношению к железу, меди и свинцу и ряду других элементов [17–20].

Цель исследования – определение уровня безопасности на основе изучения хронической токсичности водного экстракта мегастробилов *Picea abies* на различные органы и ткани лабораторных животных.

Материалы и методы. Сырьем для получения экстракта служили мегастробилы ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst., Pinaceae), произрастающей на территории Пермского края, Российская Федерация. Мегастробилы заготавливали в Ильинском районе Пермского края в период с сентября по март. Заготовленное сырье высушивали воздушно-теневым способом. Экстракт получали из сборного образца, включающего сырье всех месяцев заготовки. Около 50 г мегастробилов *Picea abies*, измельченных до частиц, проходящих сквозь сито с диаметром отверстий 2 мм, помещали в колбу, добавляли 1,5 ч воды (гидромодуль 1: 30) и экстрагировали при перемешивании в течение 1,5 ч при нагревании 80–85 °С. По

¹ Гуляев Д.К., Машенко П.С. Способ получения экстракта шишек ели, обладающего антиоксидантной активностью и растворимостью в воде: Патент № 2811041 от 10.01.2024.

окончании экстракции сырье отделяли от экстракта фильтрованием. Полученный экстракт сгущали под вакуумом при температуре 80–85 °С в 10 раз от первоначального объема. Далее отделяли балластную, неактивную фракцию путем охлаждения упаренного экстракта при температуре -18 °С в течение 15 мин. При этом выпадал осадок, в который попадали: часть полисахаридного комплекса, белки, дубильные вещества, смолистые вещества. Осадок уплотняли центрифугированием и отбрасывали. Надосадочную жидкость выпаривали в вакуум-выпарном аппарате до густой массы и высушивали в сушильном шкафу при температуре 50 °С [1].

Экстракт представляет собой аморфный порошок светло-коричневого цвета со специфическим запахом, растворимый в воде, частично растворимый в 50- и 70%-ном спирте этиловом и не растворимый в диэтиловом эфире, этилацетате, хлороформе. В эксперименте использовались белые лабораторные аутбредные крысы обоих полов стока линии Wistar. Подготовка животных включала отбор по полу, возрасту и состоянию здоровья. В экспериментальные и контрольные группы включали здоровых животных без признаков воспаления и других патологий, что соответствует методике определения хронической токсичности². В рамках выделенной субпопуляции был выполнен рандомизированный отбор с использованием генератора случайных чисел в экспериментальные группы по 10 животных каждого пола (одна экспериментальная группа самцов, одна контрольная группа самцов, одна экспериментальная группа самок, одна контрольная группа самок). Животные в группах маркировались методом нанесения сквозных индивидуальных меток. Проверка качества рандомизации выполнялась до эксперимента на основе тестирования значимости сдвигов масс и гомогенности дисперсий.

Исследуемое вещество (водный экстракт мегастробиллов *Picea abies*) растворяли в теплой воде очищенной, предварительно растерев в фарфоровой ступке, и вводили животным экспериментальной группы перорально в дозе 12 мг/кг (доза определена в соответствии с человеческой дозировкой с учетом пересчета) ежедневно в течение трех месяцев. В качестве эквистрессового воздействия животным в контрольной группе вводилась дистиллированная вода.

По окончании срока наблюдения животных выводили из эксперимента путем декапитации под эфирным наркозом с соблюдением этических принципов «Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в других научных целях» (Страсбург, 18.03.1986). Забор органов для гистологического исследования проводили сразу после остановки

сердца. Для микроскопического изучения взяты кусочки органов: сердце, почки, желудок, тонкая кишка. После забора органы фиксировали в течение 24 ч в 10%-ном забуференном нейтральном растворе формалина с последующей заливкой в парафин по общепринятой схеме, готовили гистологические срезы толщиной 5 мкм, которые окрашивали гематоксилином и эозином. Микроскопирование и фотография препаратов проводили с помощью микроскопа «Ломо Микмед-6» при увеличении 100, 200, 400 и 900 и цифровой фотокамеры TourCam.

Элементный состав образцов костной ткани определяли с использованием рентгенофлюоресцентного метода на энергодисперсионном рентгенофлюоресцентном спектрометре марки QUANT'X компании Thermo Scientific, США. Для определения золы исследуемые образцы сжигали в муфельной печи в течение 10 ч при температуре 600 °С. Содержание элементов рассчитывали в мг/г массы кости.

Статистическую обработку результатов эксперимента проводили методами математической статистики с помощью *t*-критерия Стьюдента, с использованием программы Microsoft Excel. Количественные признаки представлены как *M* (среднее арифметическое). Достоверность отличий между группами считали значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. При ежедневном введении в течение 12 недель водного экстракта мегастробиллов *Picea abies* в дозе 12 мг/кг крысам обоих полов стока линии Wistar не обнаружено летальности животных в контрольной и экспериментальной группах как самцов, так и самок. Изменений в поведении, состоянии шерсти, состоянии слизистых у животных контрольных и экспериментальных групп не выявлено.

У двух животных в экспериментальной группе самцов были обнаружены мелкие гематомы на задних конечностях. У животных контрольных групп гематом не наблюдалось.

При ежедневном введении в течение 12 недель сухого водного экстракта мегастробиллов *Picea abies* в дозе 12 мг/кг не было выявлено достоверных отличий в результатах массометрии контрольных и экспериментальных групп. При анализе динамики веса у самок статистически значимых различий между средними весами экспериментальной и контрольной групп выявлено не было. Самцы крыс, подвергавшиеся хроническому введению сухого экстракта мегастробиллов *Picea abies*, медленнее набирали массу. Однако статистическая значимость ни в одной из временных точек достигнута не была (рис. 1).

При длительном пероральном введении исследуемого вещества наибольшему влиянию подверглись органы ЖКТ. В связи с этим для определения степени местного действия изучаемого препарата

²Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / под общ. ред. чл.-корр. РАМН проф. Р.У. Хабриева. – 2-изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 2005. – 832 с.

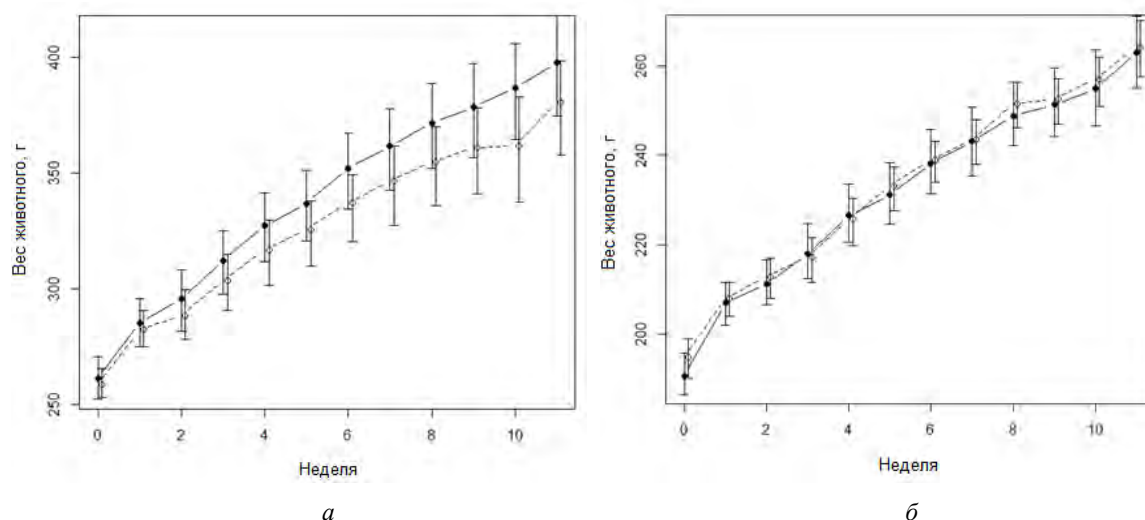


Рис. 1. Динамика массы тела лабораторных крыс, получавших экстракт мегастробилов *Picea abies* на протяжении 12 недель (точками показаны средние значения массы тела групп в конкретный момент времени, «усами» обозначены верхние и нижние 95%-ные доверительные интервалы. Сплошная линия – контрольная группа, пунктирная линия – экспериментальная группа): а – самцы; б – самки

проведено гистологическое исследование желудка и тонкого кишечника. Для выявления токсического действия препарата были изучены морфологические особенности почек и сердца.

У самцов экспериментальной группы в стенке желудка определялись признаки морфологической нормы. Характер покровного эпителия не отличался в контрольной и экспериментальной группах и был представлен в пищеводном отделе – многослойным плоским ороговевающим, а в области дна и в кардиальном отделе – однослойным столбчатым железистым эпителием. Железы желудка сохраняли признаки нормального строения. В собственной пластинке слизистой и в подслизистой оболочках наблюдалось неравномерное расширение кровеносных и лимфатических капилляров как в экспериментальной, так и в контрольной группах. Состояние крупных кровеносных сосудов без особенностей. Строение мышечной и серозной оболочек соответствовало контролю.

Тонкая кишка самцов этой же группы имела признаки нормального строения. Слизистая оболочка формировала ворсинки и крипты, покрытые однослойным столбчатым каемчатым эпителием. Строение покровного эпителия не отличалось в контрольной и экспериментальной группах. Бокаловидные клетки крупные, в области ворсинок – с признаками секреторной активности. В криптах энтероциты в состоянии митоза. В собственной пластинке слизистой и подслизистой оболочки кровеносные и лимфатические капилляры неравномерно расширенные, часть из них содержит клетки крови. В мышечной оболочке без структурных особенностей. В прослойках между слоями мышц четко верифицируются слегка расширенные сосуды и нервные ганглии. В целом, строение

стенки кишки у самцов экспериментальной группы соответствовало контролю (рис. 2, 3).

В результате исследования установлено, что в гистологической структуре изучаемых органов у самцов в контрольной и экспериментальной группах специфических особенностей строения не было.

У самок гистологическое исследование желудка и тонкой кишки так же, как и у самцов, не выявило различий в экспериментальной и контрольной группах. В экспериментальной группе морфологическая структура органов сохраняла признаки нормального строения, все структурные компоненты имели типичное гистофизиологическое строение и соответствовали строению желудка и тонкой кишки крыс группы контроля (рис. 4, 5).

Для определения токсического влияния экстракта были исследованы структурные особенности почек и сердца крыс в контрольной и экспериментальной группах, разделенных по гендерному признаку.

У животных экспериментальной группы (самцы и самки) изменений в структуре сердца не выявлено. Эндокард состоял из эндотелия и соединительной ткани, его строение не отличалось от контрольных данных. Кардиомиоциты миокарда, формируя функциональные волокна, имели эухромные ядра и равномерно окрашенную оксифильную цитоплазму с поперечной исчерченностью. В строме миокарда, в узких ее прослойках из соединительной ткани определялись неравномерно расширенные кровеносные капилляры. Строение кардиомиоцитов и стромы миокарда соответствовало таковому в группе контроля. Наружная оболочка сердца имела обычное строение. Гистологическое строение сердца у самцов и самок опытной группы не имело гендерных отличий и соответствовало строению органов крыс группы контроля (рис. 6).

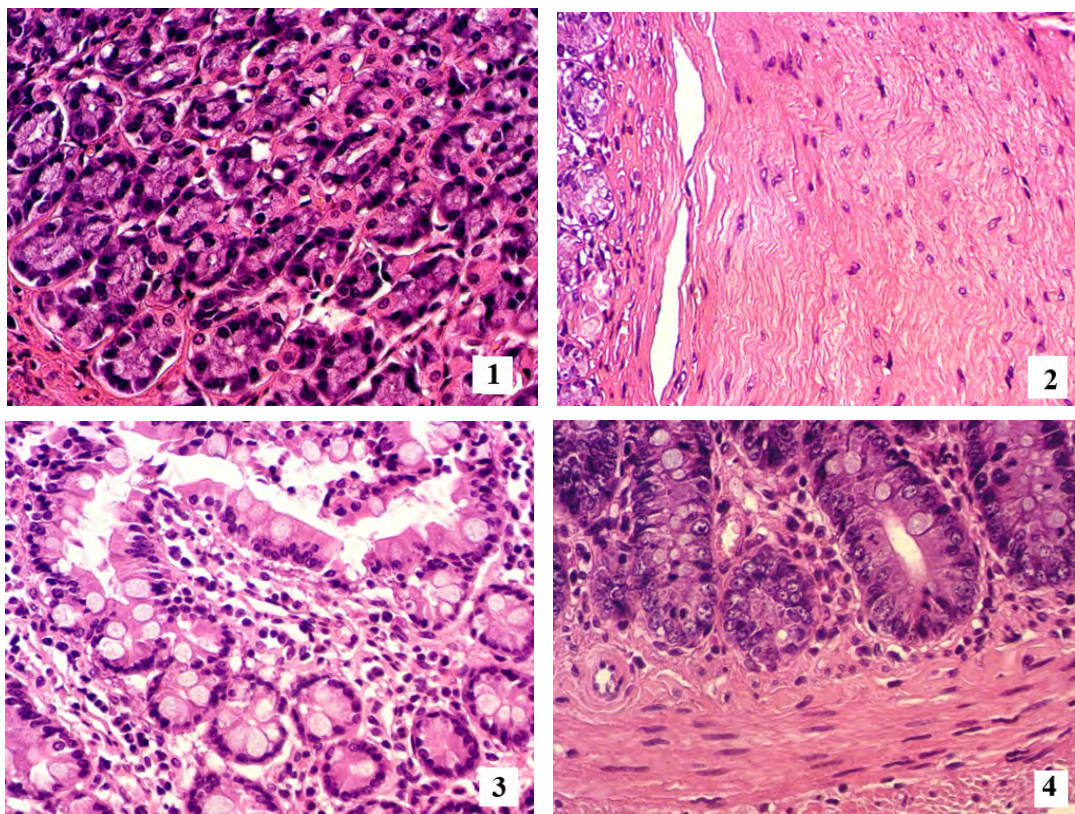


Рис. 2. Контрольная группа (самцы). Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение $\times 400$: 1 – желудок, слизистая оболочка, железы; 2 – подслизистая и часть мышечной оболочки; 3 – тонкая кишка, слизистая оболочка, ворсинки и крипты; 4 – тонкая кишка, часть слизистой оболочки с криптами, подслизистая и мышечная оболочки

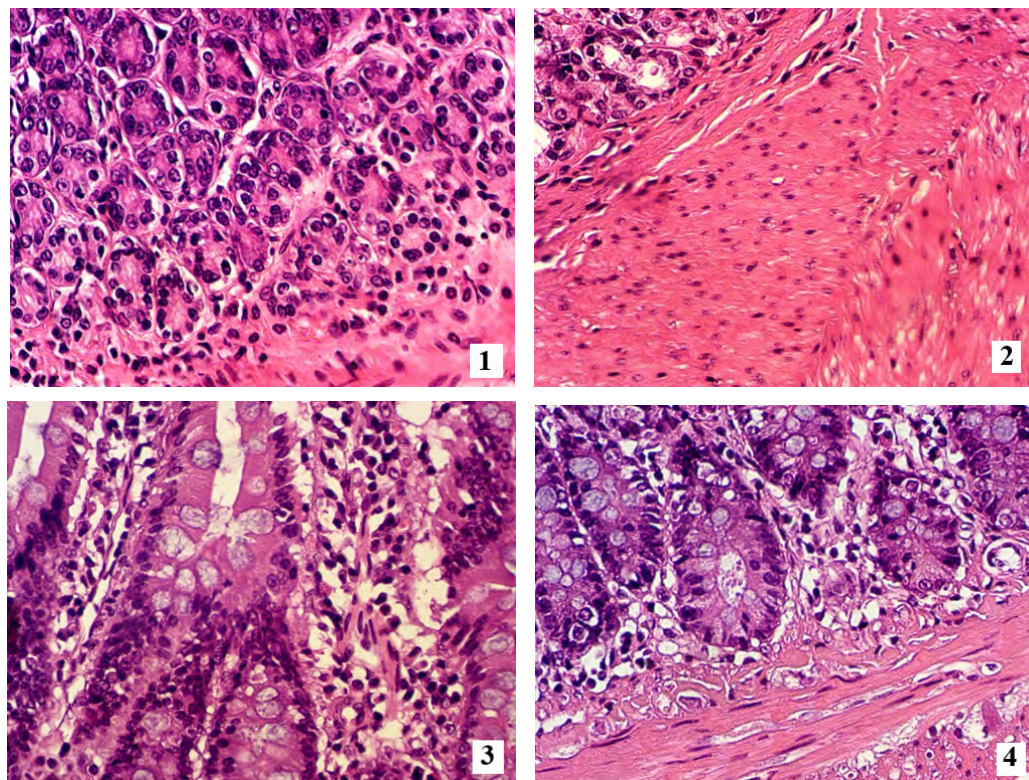


Рис. 3. Экспериментальная группа (самцы). Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение $\times 400$: 1 – желудок, слизистая оболочка, железы; 2 – подслизистая и часть мышечной оболочки; 3 – тонкая кишка, слизистая оболочка, ворсинки и крипты; 4 – тонкая кишка, часть слизистой оболочки с криптами, подслизистая и мышечная оболочки

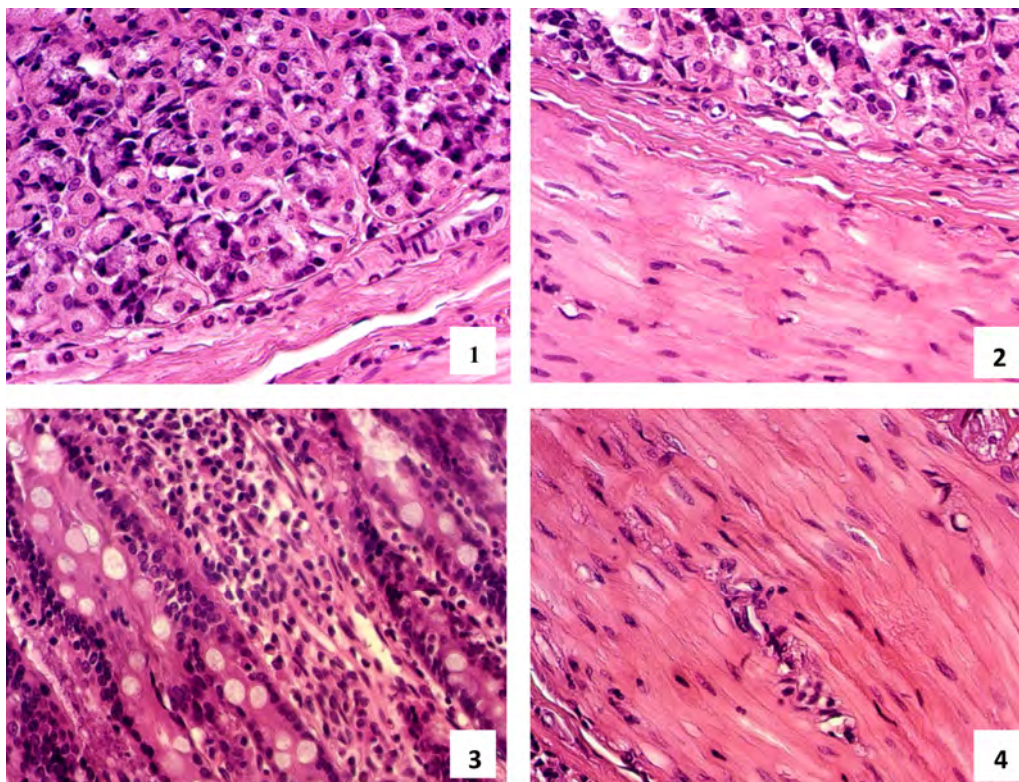


Рис. 4. Контрольная группа (самки). Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение $\times 400$: 1 – желудок, слизистая оболочка, железы; 2 – желудок, часть слизистой, подслизистая и часть мышечной оболочки; 3 – тонкая кишка, слизистая оболочка, ворсинки; 4 – тонкая кишка, мышечная оболочка

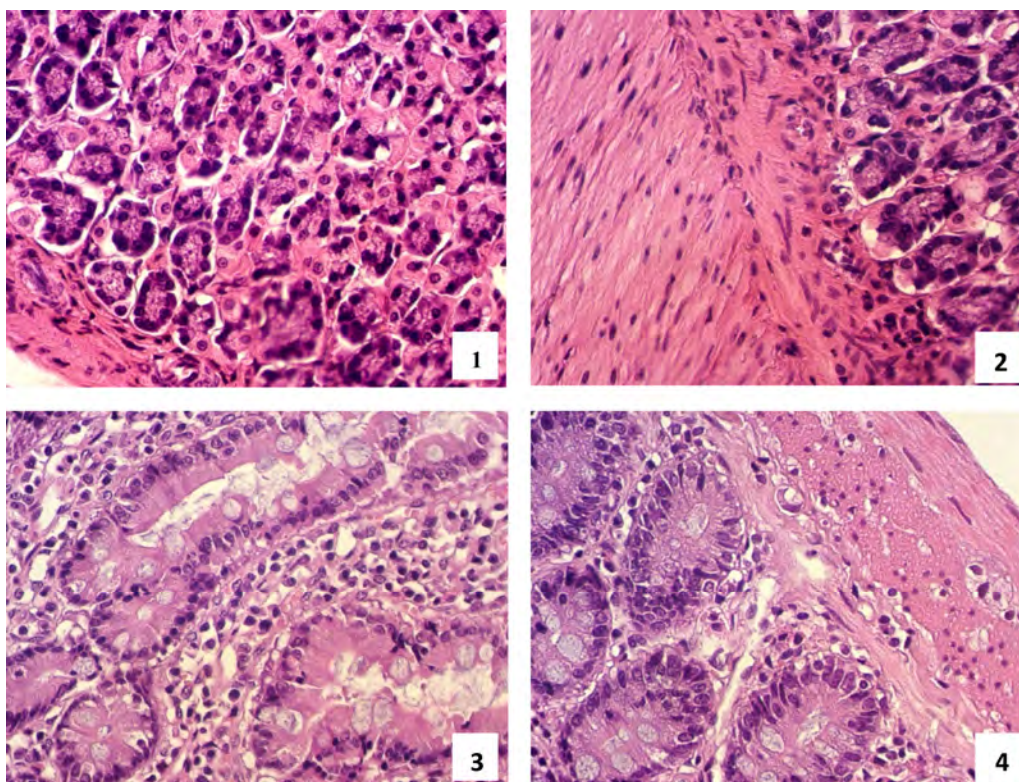


Рис. 5. Экспериментальная группа (самки). Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение $\times 400$: 1 – желудок, слизистая оболочка, железы; 2 – желудок, часть слизистой, подслизистая и часть мышечной оболочки; 3 – тонкая кишка, слизистая оболочка, ворсинки и крипты; 4 – тонкая кишка, часть слизистой оболочки с криптами, подслизистая и мышечная оболочки

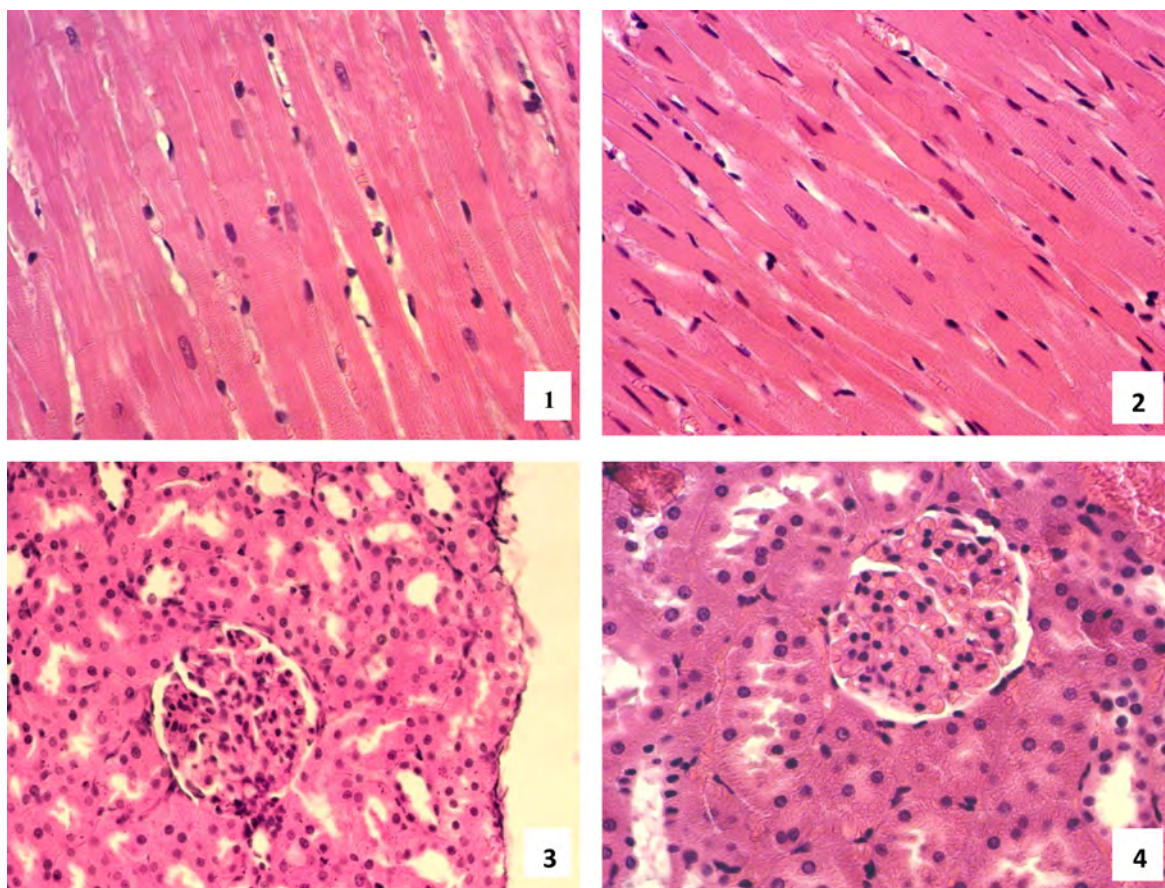


Рис. 6. Самцы. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение $\times 400$: 1 – контрольная группа, сердце, миокард; 2 – экспериментальная группа, сердце, миокард; 3 – контрольная группа, почка, корковое вещество; 4 – экспериментальная группа, почка, корковое вещество

В почках экспериментальной группы хорошо различимо корковое и мозговое вещество. В корковом веществе определялись почечные тельца нефронов, проксимальные и дистальные извитые канальцы. Структура канальцев не имела особенностей. Выстилка проксимальных и дистальных отделов представлена однослойным кубическим эпителием, просвет канальцев был свободен. Почечные тельца заполнены сетью капилляров и четко просматриваемой капсулой нефрона. Просвет капсулы был свободен. Строение почечного тельца у животных экспериментальной группы не отличалось от такового в контрольной группе. В канальцах мозгового вещества структурных особенностей не выявлено. Как и у животных группы контроля, стенка этих канальцев выстлана однослойным низким кубическим эпителием. Просвет канальцев был свободным. Пространство между канальцами в корковом и мозговом веществе заполнено соединительной тканью с кровеносными сосудами. Строение сосудов не имело особенностей. Таким образом, гистологическое строение почек у самцов и самок экспериментальной группы не имело гендерных отличий и соответствовало строению органов крыс группы контроля (рис. 7).

Следующим этапом работы было исследование состава костной ткани на фоне длительного введения экстракта. Результаты представлены в таблице. После трехмесячного введения водного экстракта мегастробилов *Picea abies* у лабораторных животных не наблюдалось снижения содержания основных элементов в костной ткани – кальция и фосфора. Средние значения по содержанию кальция и фосфора были выше в опытной группе, но различия не имели статистической значимости.

Крысам обоих полов стока линии Wistar ежедневно в течение 12 недель перорально вводили водный экстракт мегастробилов *Picea abies* в дозе 12 мг/кг. В исследовании было проведено разделение животных по гендерному признаку с выделением экспериментальной и контрольной групп.

Длительное пероральное введение водного экстракта мегастробилов *Picea abies* не привело к гибели животных ни в одной из исследуемых групп. В ходе анализа установлено, что прирост массы тела у самцов экспериментальной группы был ниже по сравнению с самцами контрольной группы, но статистическая значимость ни в одной из сравниваемых точек не была достигнута. В группах самок никаких изменений в скорости набора массы тела

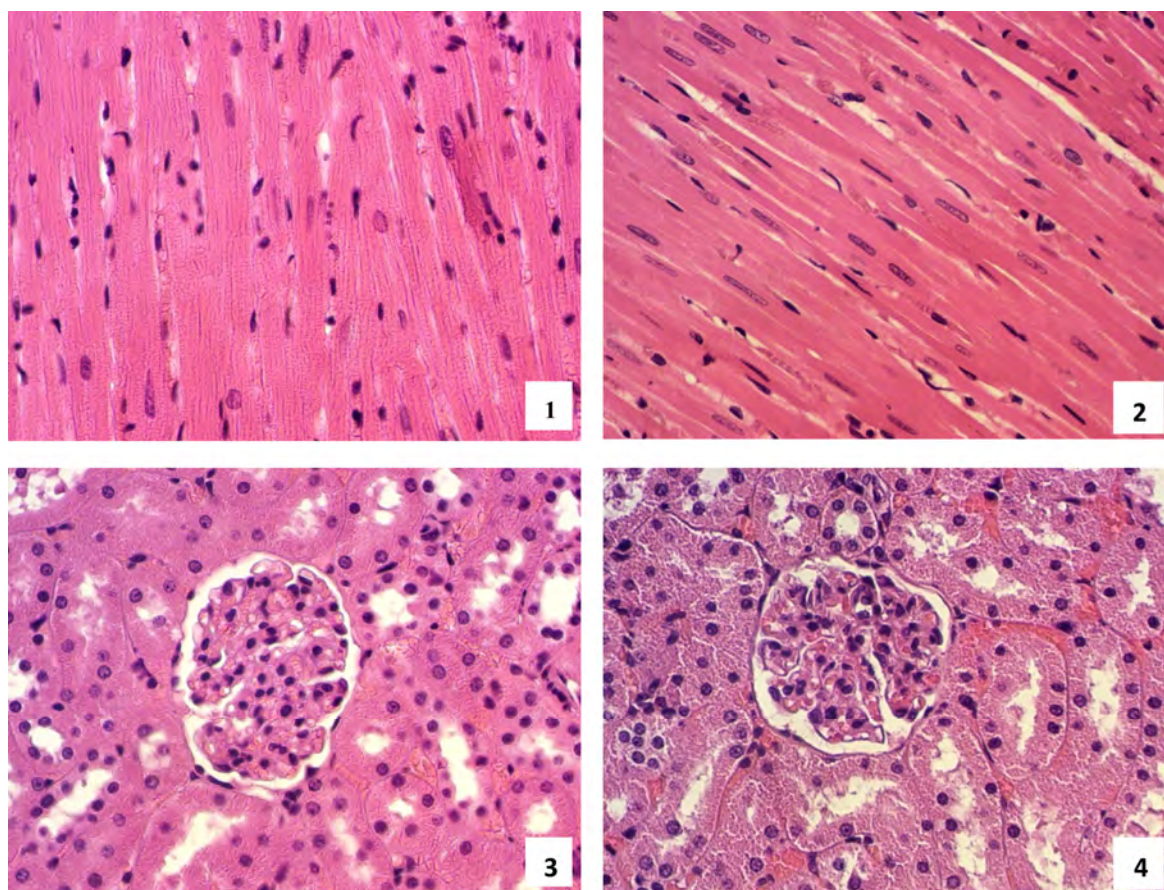


Рис. 7. Самки. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение $\times 400$: 1 – контрольная группа, сердце, миокард; 2 – экспериментальная группа, сердце, миокард; 3 – контрольная группа, почка, корковое вещество; 4 – экспериментальная группа, почка, корковое вещество

Элементный состав костной ткани на фоне трехмесячного введения водного экстракта мегастробилов *Picea abies*

Элемент	Содержание, мг/г		
	Контрольная группа	Опытная группа	<i>p</i> -value
Ca	127,55 \pm 25,64	146,39 \pm 9,9	0,2741
P	34,81 \pm 15,55	49,74 \pm 10,38	0,2423

Примечание: * *p* – значение по критерию Стьюдента; *p* < 0,05 свидетельствует о наличии достоверных отличий от данных контрольной группы.

не наблюдалось. Не наблюдалась разницы между экспериментальными и контрольными группами в характере волосяного покрова, состоянии слизистых оболочек. Животные двух сравниваемых групп потребляли одинаковое количество корма и жидкости. Длительное введение водного экстракта мегастробилов *Picea abies* не оказывало влияния на поведение крыс при сравнении данных между экспериментальной и контрольной групп животных.

Обнаруженные мелкие гематомы у двух самцов крыс могут свидетельствовать о влиянии процианидинов экстракта мегастробилов *Picea abies* на систему свертывания крови. Процианидины экс-

тракта могут ингибировать агрегацию тромбоцитов путем усиления выделения оксида азота эндотелием сосудов [21].

В исследовании хронической токсичности важным этапом является оценка состояния внутренних органов лабораторных животных. Результаты исследования фрагментов желудка и тонкого кишечника, а также сердца и почек крыс указывают на отсутствие различий данных экспериментальной и контрольной групп.

Гистологическое исследование сердца и почек самцов и самок в эксперименте показало отсутствие токсического влияния водного экстракта мегастробилов *Picea abies*. В сердце животных экспериментальных групп не наблюдалось изменения в строении оболочек сердца, за исключением неравномерного расширения капилляров межмышечной стромы. Однако схожие изменения были установлены и в контрольных группах самцов и самок. Гистологическое строение почек у животных опытных групп не было изменено.

При изучении строения желудка крыс были исследованы слизистая, подслизистая, мышечная и серозная оболочки. Следует отметить, что в слизистой и подслизистой оболочках животных в экспе-

риментальных группах наблюдалось неравномерное расширение кровеносных и лимфатических капилляров, но эти же изменения характерны и для животных контрольной группы.

При изучении фрагментов тонкой кишки крыс были исследованы четыре оболочки: слизистая, подслизистая, мышечная и серозная. В слизистой и подслизистой оболочке определяются сосуды, неравномерно расширенные кровеносные и лимфатические капилляры. Установлен одинаковый характер изменений кровеносных и лимфатических капилляров и в экспериментальных, и в контрольных группах. Подобные изменения наблюдались вне зависимости от пола животных. Стоит отметить, что морфологическая структура желудка и кишечника сохраняла признаки нормального строения. Некоторые исследования показали эффективность применения процианидинов как противоязвенных средств [22].

Расширение сосудов микроциркуляторного русла в органах пищеварительной системы и в сердце у животных как экспериментальной, так и контрольной групп не сопровождалось изменением проницаемости стенок сосудов, не приводило к развитию отека, клеточной инфильтрации или каких-либо других явных признаков нарушения кровообращения. Выявленные изменения носят неспецифический характер и, вероятно, причиной их появления стало общее воздействие на животных других внешних факторов, не связанных с введением исследуемого вещества.

Наблюдаемое неравномерное расширение лимфатических сосудов и капилляров может быть частично связано с воздействием процианидинов и флавоноидов при длительном введении экстракта. Известны исследования, в которых установлена способность флавоноидов и процианидинов некоторых растений вызывать вазодилатацию [23, 24]. Наибольшая концентрация процианидинов после введения наблюдается в брыжеечном жире, что позволяет предположить, что процианидины перемещаются по организму преимущественно по лимфатической системе [8]. При применении процианидинов происходит увеличение уровня эндотелиальной синтазы оксида азота (eNOS), что ведет к увеличению выработки оксида азота и улучшению работы эндотелия [25]. Расширение кровеносных и лимфатических сосудов под действием процианидинов и флавоноидов экстракта мегастробилов *Picea abies* требует дальнейшего изучения. Данные литературных источников не исключают развития вазодилатации при применении экстрактов, содержащих процианидины.

Безопасность длительного применения экстрактов с высоким содержанием процианидинов была доказана и в других исследованиях. При введении экстракта виноградных косточек с высоким содержанием процианидинов наблюдалось снижение ожирения у животных, вызванного высоко жи-

ровой диетой, а также снижение системных маркеров воспаления (фактора некроза опухоли альфа и С-реактивного белка) [23].

Также было показано, что пероральное применение в течение трех месяцев пищевой добавки «Пикногенол», содержащей процианидины коры средиземноморской сосны, повышает тонус и эластичность сосудов нижних конечностей, что благоприятно сказывается при устранении симптомов варикозного расширения вен. Побочные эффекты при применении указанного средства среди участников исследования не зафиксированы [26].

Для оценки влияния длительного перорального введения исследуемого экстракта на всасывание и распределение химических элементов в организме животных определяли содержание элементов в костной ткани. Ключевыми элементами, от поступления которых в первую очередь зависит формирование костной ткани, являются кальций и фосфор. Дефициты этих элементов приводят к развитию многих заболеваний опорно-двигательного аппарата, включая остеопороз.

Результаты исследования показывают тенденцию к увеличению содержания кальция и фосфора в костях крыс и свидетельствуют, что длительный пероральный прием исследуемого экстракта безопасен для нормального развития костной ткани.

Выводы:

1. При ежедневном введении в течение 12 недель сухого водного экстракта мегастробилов *Picea abies* не было выявлено достоверных отличий в массометрии животных контрольных и экспериментальных групп. Однако наблюдалась тенденция к снижению скорости набора массы в группах самцов, получавших сухой экстракт мегастробилов *Picea abies*.

2. Результаты исследования фрагментов желудка и тонкого кишечника, а также сердца и почек крыс указывают на отсутствие различий между данными экспериментальной группы, получавшей экстракт, и контрольной.

3. На фоне введения водного экстракта мегастробилов *Picea abies* наблюдается увеличение содержания кальция и фосфора в костной ткани.

4. Указанные характеристики позволяют заключить, что применение водного экстракта мегастробилов *Picea abies* в дозе 12 мг/кг, в течение 12 недель не приводит к возникновению значимых нарушений как во внешних покровах, так и в строении внутренних органов.

5. Необходимо продолжить работы по обоснованию критериев безопасности применения сухого экстракта мегастробилов *Picea abies* у животных и человека.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Пермского научно-образовательного центра «Рациональное недропользование», 2023.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Экстракт стробилов ели обыкновенной как перспективное средство для минимизации рисков развития воспаления / Д.К. Гуляев, Д.Ю. Апушкин, А.И. Андреев, А.С. Сульдин, П.С. Машенко, Т.А. Утушкина, К.Е. Якушина // *Анализ риска здоровью*. – 2023. – № 3. – С. 163–171. DOI: 10.21668/health.risk/2023.3.16
2. Anti-oxidant and anti-melanogenic activity of the methanol extract of pine cone / A.R. Lee, S.-S. Roh, E.-S. Lee, Y.-H. Min // *Asian Journal of Beauty and Cosmetology*. – 2016. – Vol. 14, № 3. – P. 301–308. DOI: 10.20402/ajbc.2016.0055
3. Hofman T., Visi-Rajczi E., Levente A. Antioxidant properties assessment of the cones of conifers through the combined evaluation of multiple antioxidant assays // *Industrial Crops and Products*. – 2019. – Vol. 145, № 3. – P. 111935. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111935
4. Characteristics of the polyphenolic profile and antioxidant activity of cone extracts from conifers determined using electrochemical and spectrophotometric methods / M. Latos-Brozio, A. Masek, E. Chrzescijanska, A. Podsedek, D. Kajszyzak // *Antioxidants (Basel)*. – 2021. – Vol. 10, № 11. – P. 1723. DOI: 10.3390/antiox10111723
5. Topal M. Secondary metabolites of ethanol extracts of *Pinus sylvestris* cones from eastern Anatolia and their antioxidant, cholinesterase and α -glucosidase activities // *Records of Natural Products*. – 2019. – Vol. 14, № 2. – P. 129–138. DOI: 10.25135/rnp.155.19.06.1326
6. Takahama U., Hirota S. Interactions of flavonoids with α -amylase and starch slowing down its digestion // *Food & Function*. – 2018. – Vol. 9, № 2. – P. 677–687. DOI: 10.1039/c7fo01539a
7. Czubinski J., Dwiecki K. A review of methods used for investigation of protein-phenolic compound interactions // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2017. – Vol. 52, № 3. – P. 573–585. DOI: 10.1111/ijfs.13339
8. Absorption, metabolism, distribution and faecal excretion of B-type procyanidin oligomers in mice after a single oral administration of black soybean seed coat extract / L. Wang, Y. Yamashita, S. Komeda, A. Saito, H. Ashida // *Food & Function*. – 2018. – Vol. 9, № 10. – P. 5362–5370. DOI: 10.1039/c8fo00852c
9. In vitro digestion of meat and cereal-based food matrix enriched with grape extracts: How are polyphenol composition, bioaccessibility and antioxidant activity affected? / M.B. Pesic, D.D. Milincic, A.Z. Kostic, N.S. Stanisavljevic, G.N. Vukotic, M.O. Kojic, U.M. Gasic, M.B. Barac [et al.] // *Food Chem*. – 2019. – Vol. 284. – P. 28–44. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.107
10. Metabolites and changes in antioxidant activity of A-type and B-type proanthocyanidin dimers after incubation with rat intestinal microbiota / Z.-Z. Ge, X.-Q. Dong, W. Zhu, Y. Zhang, C.-M. Li // *J. Agric. Food Chem*. – 2015. – Vol. 63, № 41. – P. 8991–8998. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b03657
11. Aronia (*Aronia melanocarpa*) phenolics bioavailability in a combined in vitro digestion/Caco-2 cell model is structure and colon region dependent / D. Wu, C. Grootaert, S. Voorspoels, G. Jacobs, J. Pitart, S. Kamiloglu, S. Possemiers, M. Heinenon [et al.] // *Journal of Functional Foods*. – 2017. – Vol. 38. – P. 128–139. DOI: 10.1016/j.jff.2017.09.008
12. Rethinking the mechanism of the health benefits of proanthocyanidins: absorption, metabolism, and interaction with gut microbiota / W. Tao, Y. Zhang, X. Shen, Y. Cao, J. Shi, X. Ye, S. Chen // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2019. – Vol. 18, № 4. – P. 971–985. DOI: 10.1111/1541-4337.12444
13. Gultekin-Ozguven M., Berktaş I., Özcelik B. Change in stability of procyanidins, antioxidant capacity and in-vitro bioaccessibility during processing of cocoa powder from cocoa beans // *LWT – Food Science and Technology*. – 2016. – Vol. 72. – P. 559–565. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.04.065
14. Profiling and Distribution of Metabolites of Procyanidin B2 in Mice by UPLC-DAD-ESI-IT-TOF-MSn Technique / Y. Xiao, Z. Hu, Z. Yin, Y. Zhou, T. Liu, X. Zhou, D. Chang // *Front. Pharmacol*. – 2017. – Vol. 8. – P. 231. DOI: 10.3389/fphar.2017.00231
15. Analysis of distribution and pharmacokinetics of litchi pericarp procyanidins in rat plasma and organs by using liquid chromatography–tandem mass spectrometry / Q. Wu, S. Li, J. Xiao, Y. Sui, B. Xie, Z. Sun // *Eur. Food Res. Technol*. – 2016. – Vol. 243. – P. 167–176. DOI: 10.1007/s00217-016-2733-x
16. Flavonol and A-type procyanidin-rich extracts of *Prunus spinosa* L. flower exhibit anticoagulant activity through direct thrombin inhibition, but do not affect platelet aggregation *in vitro* / A. Marchelak, J. Kolodziejczyk-Czepas, M.B. Ponczek, O. Liudvytska, M. Markowicz-Piasecka, B. Bielska, K. Miłowska, M.A. Olszewska // *Front. Pharmacol*. – 2023. – Vol. 14. – P. 1307373. DOI: 10.3389/fphar.2023.1307373
17. Bashir N., Manoharan V., Miltonprabu S. Grape seed proanthocyanidins protects against cadmium induced oxidative pancreatitis in rats by attenuating oxidative stress, inflammation and apoptosis via Nrf-2/HO-1 signaling // *J. Nutr. Biochem*. – 2016. – Vol. 32. – P. 128–141. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2016.03.001
18. Grape seed procyanidin extract attenuates hypoxic pulmonary hypertension by inhibiting oxidative stress and pulmonary arterial smooth muscle cells proliferation / H. Jin, M. Liu, X. Zhang, J. Pan, J. Han, Y. Wang, H. Lei, Y. Ding, Y. Yuan // *J. Nutr. Biochem*. – 2016. – Vol. 36. – P. 81–88. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2016.07.006
19. An Untargeted metabolomics approach for correlating pulse crop seed coat polyphenol profiles with antioxidant capacity and iron chelation ability / F.M. Ellessawy, A. Vandenberg, A. El-Aneed, R.W. Purves // *Molecules*. – 2021. – Vol. 26, № 13. – P. 3833. DOI: 10.3390/molecules26133833
20. The effects of meso-2,3-dimercaptosuccinic acid and oligomeric procyanidins on acute lead neurotoxicity in rat hippocampus / J. Zhang, X.-F. Wang, Z.-B. Lu, N.-Q. Liu, B.-L. Zhao // *Free Radic. Biol. Med*. – 2004. – Vol. 37, № 7. – P. 1037–1050. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2004.06.037
21. The application of procyanidins in diabetes and its complications: a review of preclinical studies / Y. Zhang, M. Li, H. Liu, Y. Fan, H.H. Liu // *Front. Pharmacol*. – 2025. – Vol. 16. – P. 1532246. DOI: 10.3389/fphar.2025.1532246
22. Antiulcer activity of proanthocyanidins is mediated via suppression of oxidative, inflammatory, and apoptotic machineries / M.S. Lokman, D. Zaafar, H.A. Althagafi, M.M. Abdel Daim, A. Theyab, A. Hasan Mufti, M. Algahtani, O.A. Habotta [et al.] // *J. Food Biochem*. – 2022. – Vol. 46, № 2. – P. e14070. DOI: 10.1111/jfbc.14070
23. Modulatory effect of grape-seed procyanidins on local and systemic inflammation in diet-induced obesity rats / X. Terra, V. Pallarés, A. Ardévol, C. Bladé, J. Fernández-Larrea, G. Pujadas, J. Salvadó, L. Arola, M. Blay // *J. Nutr. Biochem*. – 2011. – Vol. 22, № 4. – P. 380–387. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2010.03.006

24. Acute effects of cocoa flavanols on blood pressure and peripheral vascular reactivity in type 2 diabetes mellitus and essential hypertension / A. Tanghe, E. Heyman, E. Lespagnol, J. Stautemas, B. Celie, J. Op 't Roodt, E. Rietzschel, D. Dias Soares [et al.] // *Nutrients*. – 2022. – Vol. 14, № 13. – P. 2692. DOI: 10.3390/nu14132692

25. Parzonko A., Naruszewicz M. Cardioprotective effects of *Aronia melanocarpa* anthocyanins. From laboratory experiments to clinical practice // *Curr. Pharm. Des.* – 2016. – Vol. 22, № 2. – P. 174–179. DOI: 10.2174/1381612822666151112152143

26. Improvements of venous tone with pycnogenol in chronic venous insufficiency: an ex vivo study on venous segments / G. Belcaro, M. Dugall, R. Luzzi, M. Hosoi, M. Corsi // *Int. J. Angiol.* – 2014. – Vol. 23, № 1. – P. 47–52. DOI: 10.1055/s-0033-1363785

*К изучению безопасности длительного применения противовоспалительного средства на основе экстракта мегастробилов *Picea abies* / Д.К. Гуляев, Д.Ю. Апушкин, А.И. Андреев, Ю.В. Меланина, К.Е. Якушина, В.Д. Белоногова, Н.И. Гуляева, Н.П. Логинова, П.С. Мащенко, Д.О. Семакин // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 134–146. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.13*

UDC 615.076.9

DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.13.eng

Read
online



Research article

INVESTIGATING SAFETY OF LONG-TERM USE OF ANTI-INFLAMMATORY AGENT BASED ON *PICEA ABIES* MEGA-STROBILE EXTRACT

D.K. Gulyaev¹, D.Yu. Apushkin^{1,2}, A.I. Andreev^{1,2}, Yu.V. Melanina¹, K.E. Yakushina¹, V.D. Belonogova¹, N.I. Gulyaeva³, N.P. Loginova³, P.S. Mashchenko^{1,2}, D.O. Semakin¹

¹Perm State Pharmaceutical Academy, 2 Plevaya Str., Perm, 614990, Russian Federation

²Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm, 614068, Russian Federation

³Academician E.A. Vagner's Perm State Medical University, 26 Petropavlovskaya Str., Perm, 614000, Russian Federation

*The article focuses on establishing risks of side reactions caused by using aqueous extract of *Picea abies* megastrobiles for three months and provides histological results for internal organs obtained in an experiment.*

*The aim of this study was to establish safety of aqueous extract of *Picea abies* mega-strobiles by estimating its effect on various organs and tissues of experimental animals in a sub-chronic toxicity test.*

© Gulyaev D.K., Apushkin D.Yu., Andreev A.I., Melanina Yu.V., Yakushina K.E., Belonogova V.D., Gulyaeva N.I., Loginova N.P., Mashchenko P.S., Semakin D.O., 2026

Dmitri K. Gulyaev – Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of the Department of Pharmacognosy (e-mail: dkg2014@mail.ru; tel.: +7 (902) 807-10-04; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9464-1869>).

Danila Yu. Apushkin – Junior Researcher; Senior Lecturer of the Department of Pharmacology and Pharmacy (e-mail: apushkinjob@gmail.com; tel.: +7 (922) 375-95-09; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4459-5264>).

Alexander I. Andreev – Junior Researcher; Senior Lecturer of the Department of Pharmacology and Pharmacy (e-mail: mniium@yandex.ru; tel.: +7 (952) 652-75-61; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3718-4830>).

Yuliya V. Melanina – post-graduate student (e-mail: melanina.yuliya@mail.ru; tel.: +7 (919) 122-75-78; ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-7071-6459>).

Karolina E. Yakushina – post-graduate student (e-mail: karolina012012@mail.ru; tel.: +7 (912) 491-32-77; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3050-0220>).

Valentina D. Belonogova – Doctor of Pharmaceutical Sciences, Head of the Department of Pharmacognosy (e-mail: belonogovavd@yandex.ru; tel.: +7 (342) 236-90-50; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5193-3976>).

Nataliya I. Gulyaeva – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Histology, Embryology and Cytology (e-mail: bizon55@mail.ru; tel.: +7 (909) 102-31-40; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0572-7594>).

Natalya P. Loginova – Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Histology, Embryology and Cytology (e-mail: loginova.np@psma.ru; tel.: +7 (902) 475-90-67; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8597-2682>).

Petr S. Mashchenko – Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of the Department of Toxicological Chemistry; Associate Professor, acting as a Head of the Department of Pharmacology and Pharmacy (e-mail: petlya11@mail.ru; tel.: +7 (909) 104-41-44; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2259-7659>).

Dmitry O. Semakin – Candidate of Pharmaceutical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Pharmacognosy (e-mail: farm@dmitry-semakin.ru; tel.: +7 (982) 117-51-05; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9898-3479>).

Picea abies mega-strobiles were harvested on the territory of the Perm region in the Russian Federation in a fir tree forest with green moss and grass cover. Dry aqueous extract was obtained according to the original patented method. An experiment was conducted using white outbred Wistar rats of both sexes. The analyzed extract was administered daily for three months. Distilled water was administered in the control animal group as equivalent stress exposure. The element structure of bone samples was established using x-ray fluorescence with an energy-dispersion x-ray fluorescent spectrometer. Heart, kidneys, stomach and small intestine were extracted from the experimental animals for microscopic examination.

Chronic oral administration of aqueous extract of *Picea abies mega-strobiles* into healthy inflammation-free rats did not cause any changes in their behavior, mucosa or fur as confirmed by comparative analysis of the indicators between the test and control animal groups, the latter not exposed to the extract. Histology of the gastrointestinal organs (stomach and small intestine) did not find any differences between the test and control groups; no differences were found between male and female rats in the test group either. The experiment did not establish any toxic effects produced on the heart or kidneys by aqueous extract of *Picea abies mega-strobiles*. The results obtained by analyzing rats' stomach and small intestine as well as heart and kidneys indicate absence of any significant differences between the test and control group. The analysis of the bone element structure revealed a trend for growing levels of calcium and phosphorus in rat bones in the test group (exposed to aqueous extract of *Picea abies mega-strobiles*).

These findings make it possible to conclude that use of aqueous extract of *Picea abies mega-strobiles* at the dose of 12 mg/kg for 12 weeks did not cause any significant impairment either in mucosa, fur, or internal organs of experimental animals.

Keywords: mega-strobiles, *Picea abies*, aqueous extract, administration, chronic toxicity, histology, bioimpedance analysis, bone elements.

References

- Gulyaev D.K., Apushkin D.Yu., Andreev A.I., Suldin A.S., Mashchenko P.S., Utushkina T.A., Yakushina K.E. Extract of european spruce strobiles as a promising tool to minimize the risks of inflammation. *Health Risk Analysis*, 2023, no. 3, pp. 149–157. DOI: 10.21668/health.risk/2023.3.16.eng
- Lee A.R., Roh S.S., Lee E.S., Min Y.H. Anti-oxidant and anti-melanogenic activity of the methanol extract of pine cone. *Asian Journal of Beauty and Cosmetology*, 2016, vol. 14, no. 3, pp. 301–308. DOI: 10.20402/ajbc.2016.0055
- Hofman T., Visi-Rajczi E., Levente A. Antioxidant properties assessment of the cones of conifers through the combined evaluation of multiple antioxidant assays. *Industrial Crops and Products*, 2019, vol. 145, no. 3, pp. 111935 DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111935
- Latos-Brozio M., Masek A., Chrzescijanska E., Podsedek A., Kajszyzak D. Characteristics of the polyphenolic profile and antioxidant activity of cone extracts from conifers determined using electrochemical and spectrophotometric methods. *Antioxidants (Basel)*, 2021, vol. 10, no. 11, pp. 1723. DOI: 10.3390/antiox10111723
- Topal M. Secondary metabolites of ethanol extracts of *Pinus sylvestris* cones from eastern Anatolia and their antioxidant, cholinesterase and α -glucosidase activities. *Records of Natural Products*, 2019, vol. 14, no. 2, pp. 129–138. DOI: 10.25135/rnp.155.19.06.1326
- Takahama U., Hirota S. Interactions of flavonoids with α -amylase and starch slowing down its digestion. *Food & Function*, 2018, vol. 9, no. 2, pp. 677–687. DOI: 10.1039/c7fo01539a
- Czubinski J., Dwiecki K. A review of methods used for investigation of protein-phenolic compound interactions. *International Journal of Food Science & Technology*, 2017, vol. 52, no. 3, pp. 573–585. DOI: 10.1111/ijfs.13339
- Wang L., Yamashita Y., Komeda S., Saito A., Ashida H. Absorption, metabolism, distribution and faecal excretion of B-type procyanidin oligomers in mice after a single oral administration of black soybean seed coat extract. *Food & Function*, 2018, vol. 9, no. 10, pp. 5362–5370. DOI: 10.1039/c8fo00852c
- Pesic M.B., Milincic D.D., Kostic A.Z., Stanisavljevic N.S., Vukotic G.N., Kojic M.O., Gasic U.M., Barac M.B. [et al.]. In vitro digestion of meat and cereal-based food matrix enriched with grape extracts: How are polyphenol composition, bioaccessibility and antioxidant activity affected? *Food Chem.*, 2019, vol. 284, pp. 28–44. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.107
- Ge Z.-Z., Dong X.-Q., Zhu W., Zhang Y., Li C.-M. Metabolites and changes in antioxidant activity of A-type and B-type proanthocyanidin dimers after incubation with rat intestinal microbiota. *J. Agric. Food Chem.*, 2015, vol. 63, no. 41, pp. 8991–8998. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b03657
- Wu D., Grootaert C., Voorspoels S., Jacobs G., Pitart J., Kamiloglu S., Possemiers S., Heinonen M. [et al.]. Aronia (*Aronia melanocarpa*) phenolics bioavailability in a combined in vitro digestion/Caco-2 cell model is structure and colon region dependent. *Journal of Functional Foods*, 2017, vol. 38, pp. 128–139. DOI: 10.1016/j.jff.2017.09.008
- Tao W., Zhang Y., Shen X., Cao Y., Shi J., Ye X., Chen S. Rethinking the mechanism of the health benefits of proanthocyanidins: absorption, metabolism, and interaction with gut microbiota. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2019, vol. 18, no. 4, pp. 971–985. DOI: 10.1111/1541-4337.12444
- Gultekin-Ozguven M., Berktaş I., Ozelcik B. Change in stability of procyanidins, antioxidant capacity and in-vitro bioaccessibility during processing of cocoa powder from cocoa beans. *LWT – Food Science and Technology*, 2016, vol. 72, pp. 559–565. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.04.065
- Xiao Y., Hu Z., Yin Z., Zhou Y., Liu T., Zhou X., Chang D. Profiling and Distribution of Metabolites of Procyanidin B2 in Mice by UPLC-DAD-ESI-IT-TOF-MSn Technique. *Front. Pharmacol.*, 2017, vol. 8, pp. 231. DOI: 10.3389/fphar.2017.00231
- Wu Q., Li S., Xiao J., Sui Y., Xie B., Sun Z. Analysis of distribution and pharmacokinetics of litchi pericarp procyanidins in rat plasma and organs by using liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Eur. Food Res. Technol.*, 2016, vol. 243, pp. 167–176. DOI: 10.1007/s00217-016-2733-x
- Marchelak A., Kolodziejczyk-Czepas J., Ponczek M.B., Liudvytska O., Markowicz-Piasecka M., Bielska B., Miłowska K., Olszewska M.A. Flavonol and A-type procyanidin-rich extracts of *Prunus spinosa* L. flower exhibit anticoagulant

activity through direct thrombin inhibition, but do not affect platelet aggregation *in vitro*. *Front. Pharmacol.*, 2023, vol. 14, pp. 1307373. DOI: 10.3389/fphar.2023.1307373

17. Bashir N., Manoharan V., Miltonprabu S. Grape seed proanthocyanidins protects against cadmium induced oxidative pancreatitis in rats by attenuating oxidative stress, inflammation and apoptosis via Nrf-2/HO-1 signaling. *J. Nutr. Biochem.*, 2016, vol. 32, pp. 128–141. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2016.03.001

18. Jin H., Liu M., Zhang X., Pan J., Han J., Wang Y., Lei H., Ding Y., Yuan Y. Grape seed procyanidin extract attenuates hypoxic pulmonary hypertension by inhibiting oxidative stress and pulmonary arterial smooth muscle cells proliferation. *J. Nutr. Biochem.*, 2016, vol. 36, pp. 81–88. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2016.07.006

19. Elessawy F.M., Vandenberg A., El-Aneed A., Purves R.W. An Untargeted metabolomics approach for correlating pulse crop seed coat polyphenol profiles with antioxidant capacity and iron chelation ability. *Molecules*, 2021, vol. 26, no. 13, pp. 3833. DOI: 10.3390/molecules26133833

20. Zhang J., Wang X.-F., Lu Z.-B., Liu N.-Q., Zhao B.-L. The effects of meso-2,3-dimercaptosuccinic acid and oligomeric procyanidins on acute lead neurotoxicity in rat hippocampus. *Free Radic. Biol. Med.*, 2004, vol. 37, no. 7, pp. 1037–1050. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2004.06.037

21. Zhang Y., Li M., Liu H., Fan Y., Liu H.H. The application of procyanidins in diabetes and its complications: a review of preclinical studies. *Front. Pharmacol.*, 2025, vol. 16, pp. 1532246. DOI: 10.3389/fphar.2025.1532246

22. Lokman M.S., Zaafar D., Althagafi H.A., Abdel Daim M.M., Theyab A., Hasan Mufti A., Algahtani M., Habotta O.A. [et al.]. Antiulcer activity of proanthocyanidins is mediated via suppression of oxidative, inflammatory, and apoptotic machineries. *J. Food Biochem.*, 2022, vol. 46, no. 2, pp. e14070. DOI: 10.1111/jfbc.14070

23. Terra X., Pallarés V., Ardèvol A., Bladé C., Fernández-Larrea J., Pujadas G., Salvadó J., Arola L., Blay M. Modulatory effect of grape-seed procyanidins on local and systemic inflammation in diet-induced obesity rats. *J. Nutr. Biochem.*, 2011, vol. 22, no. 4, pp. 380–387. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2010.03.006

24. Tanghe A., Heyman E., Lespagnol E., Stautemas J., Celie B., Op 't Roodt J., Rietzschel E., Dias Soares D. [et al.]. Acute effects of cocoa flavanols on blood pressure and peripheral vascular reactivity in type 2 diabetes mellitus and essential hypertension. *Nutrients*, 2022, vol. 14, no. 13, pp. 2692. DOI: 10.3390/nu14132692

25. Parzonko A., Naruszewicz M. Cardioprotective effects of Aronia melanocarpa anthocyanins. From laboratory experiments to clinical practice. *Curr. Pharm. Des.*, 2016, vol. 22, no. 2, pp. 174–179. DOI: 10.2174/1381612822666151112152143

26. Belcaro G., Dugall M., Luzzi R., Hosoi M., Corsi M. Improvements of venous tone with pycnogenol in chronic venous insufficiency: an ex vivo study on venous segments. *Int. J. Angiol.*, 2014, vol. 23, no. 1, pp. 47–52. DOI: 10.1055/s-0033-1363785

Gulyaev D.K., Apushkin D.Yu., Andreev A.I., Melanina Yu.V., Yakushina K.E., Belonogova V.D., Gulyaeva N.I., Loginova N.P., Mashchenko P.S., Semakin D.O. Investigating safety of long-term use of anti-inflammatory agent based on picea abies mega-strobile extract. Health Risk Analysis, 2026, no. 1, pp. 134–146. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.13.eng

Получена: 24.11.2025

Одобрена: 05.02.2026

Принята к публикации: 26.03.2026

Научная статья

АНАЛИЗ МЕДИКО-ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ С НАСЕЛЕНИЕМ ТРУДОСПОСОБНОГО ВОЗРАСТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Р.У. Хабриев, А.А. Калининская

Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н.А. Семашко,
Российская Федерация, 105064, г. Москва, ул. Воронцово Поле, 12, стр. 1

Объектом данного исследования выступает взрослое трудоспособное население Российской Федерации. На основе изучения медико-демографических показателей и анализа заболеваемости взрослого населения трудоспособного возраста в Российской Федерации разработаны предложения по совершенствованию профилактической работы с населением.

В ходе работы были задействованы методы: аналитический, непосредственного наблюдения, статистический. Используются сведения Росстата, статистические показатели ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава РФ за период 2014–2023 гг. – формы федерального и отраслевого статистического наблюдения.

За 5 лет (2019–2023) численность населения трудоспособного возраста возросла с 82 до 85 млн. Смертность населения РФ после резкого подъема в год COVID-19 (2019) снижалась, и в 2023 г. показатель стал ниже, чем в 2019 г., составив 1206,2⁰/1000. При этом коэффициент смертности населения трудоспособного возраста после резкого роста в 2020 г. снижился, но в 2023 г. оставался несколько выше, чем в доковидном периоде, что определяет значимость здоровьесбережения трудового потенциала страны. В структуре впервые выявленной заболеваемости взрослого трудоспособного населения РФ (в 2023 г.) на первом месте находится класс болезней органов дыхания (более 40%), последующие места занимали травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин, болезни мочеполовой системы, болезни кожи и подкожной клетчатки и др. Анализ первичной и общей заболеваемости взрослого трудоспособного населения в РФ в динамике в «доковидный» год (2019) и годы пандемии (2020–2023) выявил рост определенных заболеваний, вызванных или осложненных COVID-19, которые требуют реабилитации, усиления диспансерной и профилактической работы.

Предложены организационные формы профилактической работы с населением, в том числе трудоспособного возраста.

Ключевые слова: *взрослое трудоспособное население, смертность, заболеваемость (общая и впервые выявленная), классы болезней, ранжирование субъекта РФ, врачи, дневные стационары, школы для пациентов.*

Неблагополучная демографическая ситуация, обусловленная COVID-19, а также последующей пандемией, негативно отразилась на здоровье трудоспособного населения России и определяет угрозы потерь жизненного и трудового ресурсов страны [1, 2].

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) определяет приоритетность «инвестирования» особо

значимых детерминант общественного здоровья, направленных на здоровьесбережение населения¹ [3].

Имеются публикации, посвященные анализу заболеваемости в зависимости от возрастных групп населения. Даны показатели заболеваемости всего населения старше трудоспособного возраста, детей и подростков, при этом в литературе имеются еди-

© Хабриев Р.У., Калининская А.А., 2026

Хабриев Рамил Усманович – академик РАН, доктор медицинских наук, доктор фармацевтических наук, профессор, научный руководитель (e-mail: khabriev_r@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2283-376X>).

Калининская Алефтина Александровна – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отдела исследований общественного здоровья (e-mail: akalininskya@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6984-6536>).

¹ Social determinants of health [Электронный ресурс] // WHO. – URL: https://www.who.int/health-topics/social-determinants-of-health#tab=tab_1 (дата обращения: 20.03.2025).

нические публикации, анализирующие заболеваемость взрослого трудоспособного населения РФ в силу того, что эти показатели требуют специальных расчетов [4–6].

Сбережение трудового резерва общества является стратегической задачей государства, включающей охрану здоровья населения трудоспособного возраста, и требует активизации профилактической и диспансерной работы, в том числе в сельских территориях [7–9].

Риски здоровью населения определяют стратегию государственного социально-экономического развития страны. Авторами указано на значимость рисков, связанных со средой обитания и ее загрязнением, а также с образом жизни и определяющих актуальность профилактической работы на территориях [10–12].

Большое число отечественных и зарубежных исследований посвящено заболеваемости населения в годы COVID-19 и последующие годы пандемии. Авторы указывают на обострение неинфекционных заболеваний как следствие пандемии COVID-19. Даны региональные особенности заболеваемости за годы пандемии [13–17].

Пандемия COVID-19 и ее последствия усиливают значимость профилактической работы, реабилитации и диспансеризации населения, в том числе в трудоспособном возрасте [18–20].

Здоровье населения в определенной мере зависит от обеспеченности врачами первичного звена здравоохранения. В исследовательских работах ряда авторов представлен опыт реформирования первичной медико-санитарной помощи (ПМСП) с акцентом на врача общей практики (ВОП), указывается на необходимость совершенствования качества подготовки врачей первичного звена, в первую очередь для сельских территорий, где медицинская помощь малодоступна населению [21–24].

ПМСП в РФ осуществляют врачи-терапевты участковые и врачи общей практики. ВОП – это специалист, к которому обращается впервые основное большинство населения, и он является ответственным за здоровье пациента. Общая врачебная практика, получившая широкое развитие в РФ в 60–80-е гг. прошлого столетия, в настоящее время утрачивает свое значение. ВОП особо востребован в сельских территориях с низкой доступностью медицинской помощи, и от этого врача зависит осуществление лечебно-профилактической работы, здоровьесбережение населения, в том числе трудоспособного возраста [25–27].

Высокая стоимость больничной помощи определяет увеличение финансирования ПМСП и указывает на значимость развития стационарозамещающих технологий [28–30].

Эффективность лечения в дневных стационарах (ДС) отмечает целый ряд отечественных и зарубежных исследователей [31–33].

Имеются исследовательские работы, посвященные деятельности дневных стационаров, целью

которых является реабилитация пациентов, а также профилактическое лечение с целью предупреждения обострений хронических заболеваний. Эта форма работы очень важна в настоящее время в условиях постковидного лечения пациентов, в том числе трудоспособного возраста [34–36].

Проведенный анализ источников литературы определил значимость анализа заболеваемости населения трудоспособного возраста и совершенствования профилактической работы с целью здоровьесбережения трудового потенциала общества.

Задачи:

1. Проанализировать динамику смертности всего населения, а также трудоспособного и старше трудоспособного возраста за период 2018–2023 гг.

2. Провести анализ заболеваемости (общей) населения РФ в зависимости от возрастной группы (2014–2023).

3. Разработать и проанализировать показатели заболеваемости взрослого трудоспособного населения общей и впервые выявленной по классам болезней в динамике с 2019 г. («доковидный») и в годы пандемии (2020–2023).

4. Разработать предложения по совершенствованию профилактической работы с населением трудоспособного возраста.

Материалы и методы. В ходе исследования были применены следующие методы: аналитический, непосредственного наблюдения, статистический. Использованы сведения Росстата, статистические показатели ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава РФ за период 2014–2023 гг. и формы федерального и отраслевого статистического наблюдения.

Показатели заболеваемости взрослого трудоспособного населения нами были рассчитаны с использованием статистических сведений ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России (2020–2023).

Результаты и их обсуждение. Численность населения в Российской Федерации по возрастному составу (2023) сложилась следующим образом: дети (от 0 до 17 лет) – почти 30 млн, лица трудоспособного возраста – 85 млн, и население старше трудоспособного возраста – 34 млн.

За годы анализа (2019–2023) численность трудоспособного населения возросла почти на 3 млн (с 82 до 85 млн), что в определенной мере можно связать с пенсионной реформой.

Неблагоприятная медико-демографическая ситуация в Российской Федерации обусловлена потерей жизненного и трудового потенциала в связи с COVID-19 и последующей пандемией. Изучение показателей смертности в РФ в динамике (2018–2023) показало, что в 2020 г. («ковидном») смертность резко увеличилась во всех возрастных группах (рис. 1).

В последующие годы показатели снижались, и в 2023 г. коэффициент смертности всего населения РФ стал ниже, чем в «доковидном» 2019 г., и составил 1225,3⁰/₁₀₀₀₀. Следует отметить, что смертность

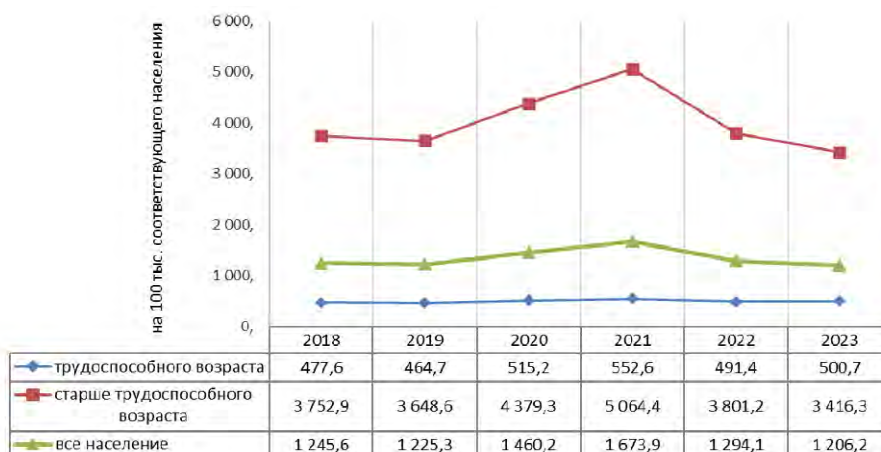


Рис. 1. Смертность населения в РФ по возрастным группам (на 100 тыс. лиц соответствующего возраста)²

населения трудоспособного возраста после резкого роста в 2020 г. снижалась, но осталась несколько выше, чем в «доковидном» периоде, составив в 2023 г. 500,7 ‰ (в 2019 г. – 464,7 ‰).

Проведенный анализ свидетельствует о необходимости усиления здоровьесбережения населения трудоспособного возраста, определяющего трудовой потенциал страны.

Изучение заболеваемости (общей) населения РФ по возрастным группам за период 2014–2023 гг. показало, что в 2020 г. было отмечено уменьшение показателей во всех анализируемых возрастных группах (рис. 2). В последние годы значения показате-

лей увеличивались и в 2023 г. стали выше, чем в 2019 г., во всех возрастах.

В процессе исследования была изучена заболеваемость – впервые выявленная и общая – взрослого трудоспособного населения России. Значения показателей заболеваемости взрослого трудоспособного населения получены расчетным путем из статистических материалов ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава РФ.

На рис. 3 представлена структура по классам болезней впервые выявленной заболеваемости взрослого трудоспособного населения РФ (в 2023 г.). Как видно из анализа, на первом месте класс болезней

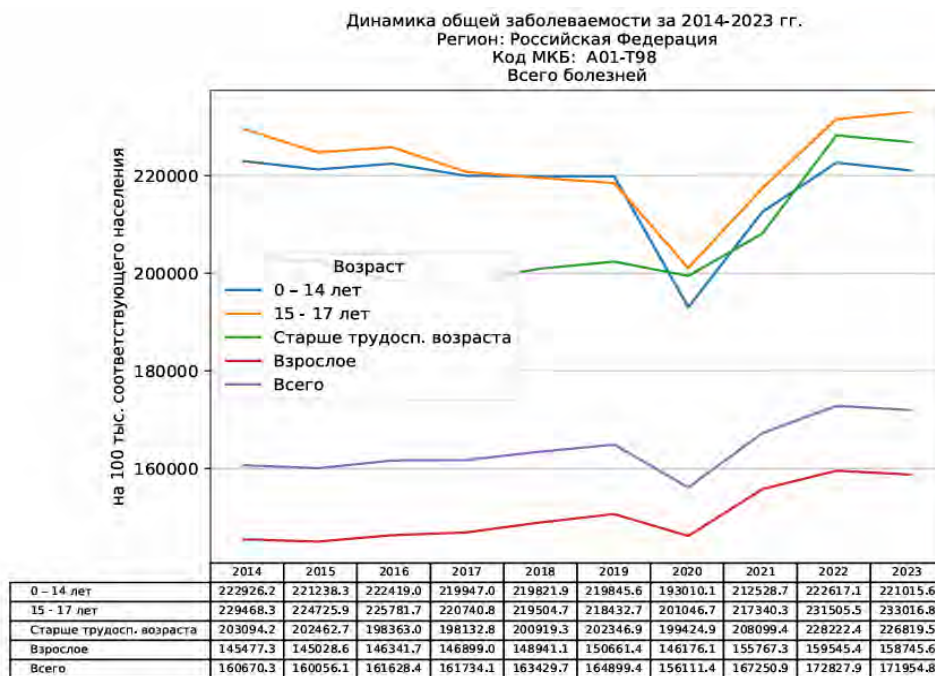


Рис. 2. Заболеваемость (общая) населения РФ в зависимости от возрастной группы за период 2014–2023 гг. (‰)³

² Смертность населения трудоспособного возраста (на 100 тыс. населения) [Электронный ресурс] // ЕМИСС: государственная статистика. – URL: <https://fedstat.ru/indicator/59267> (дата обращения: 12.05.2025).

³ Заболеваемость населения России: статистические материалы. – М.: ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, 2015–2023.



Рис. 3. Впервые выявленная заболеваемость взрослого трудоспособного населения в РФ по классам болезней 2023 г. (в % к итогу) (рассчитано авторами на основе статистических данных⁴)

органов дыхания (более 40 %), последующие места занимали травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин, болезни мочеполовой системы, болезни кожи и подкожной клетчатки и др.

Проведен анализ первичной заболеваемости по классу болезней взрослого трудоспособного насе-

ления РФ в динамике за 5 лет (2019–2023 гг.) (табл. 1). В «ковидный» год (2020) показатели заболеваемости резко уменьшились по всем классам, кроме болезней органов дыхания. Снижение впервые выявленной заболеваемости связано с уменьшением обращаемости, связанной с ослаблением в период COVID-19 диспансерной и профилактической работы.

Таблица 1

Заболеваемость (впервые выявленная) взрослого трудоспособного населения в РФ по классам болезней (⁰/10000), 2019–2023 гг. (рассчитано авторами на основе статистических данных⁴)

Класс болезни*	Код МКБ-10	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Прирост в 2023 г. к 2019 г., %
Всего в их числе:	A01–T98	55436,6	58442,2	64596,6	66197,5	58027,8	4,7
I	A00–B99	1809,7	1440,6	1434,7	1479,8	1433,5	-20,8
II	C00–D48	1045,1	876,7	904,8	958,8	1014,7	-2,9
III	D50–D89	278,1	204,7	220,5	232,4	243,8	-12,3
IV	E00–E90	1183,9	881,9	863,5	942,5	1054,3	-10,9
V	F00–F99	379,3	316,1	388,3	403,5	378,6	-0,2
VI	G00–G99	1080,1	903,7	953,9	1004,5	1029,7	-4,7
VII	H00–H59	1909,9	1603,8	1583,3	1565,4	1604,4	-16,0
VIII	H60–H95	1741,2	1468,3	1461,5	1460,8	1552,3	-10,8
IX	I00–I99	2985	2462	2475,2	2676,6	2745,1	-8,0
X	J00–J99	17601,4	22379,4	23311,1	24292,4	22647,2	28,7
XI	K00–K93	2465,9	2062,7	2012,3	2066,8	2198,3	-10,9
XII	L00–L99	3299,9	2758,1	2887,3	2902,6	2981,5	-9,6
XIII	M00–M99	2683	2262,7	2373,4	2524,3	2754,7	2,7
XIV	N00–N99	5397,6	4400,6	4433,4	4389,6	4411,8	-18,3
XIX	S00–T98	8847,2	8171,3	8252,2	8385,6	8233,2	-6,9
COVID-19	–	–	3 601,0	8 275,1	8 384,6	1 477,4	

Примечание: * I – некоторые инфекционные и паразитарные болезни; II – новообразования; III – болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм; IV – болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ; V – психические расстройства и расстройства поведения; VI – болезни нервной системы; VII – болезни глаза и его придаточного аппарата; VIII – болезни уха и сосцевидного отростка; IX – болезни системы кровообращения; X – болезни органов дыхания; XI – болезни органов пищеварения; XII – болезни кожи и подкожной клетчатки; XIII – болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани; XIV – болезни мочеполовой системы; XVII – врожденные аномалии [пороки развития], деформации и хромосомные нарушения; XIX – травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин.

⁴ Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13284> (дата обращения: 12.05.2025); Заболеваемость взрослого населения России: статистические материалы. – М.: ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, 2020–2023; Заболеваемость населения старше трудоспособного возраста по России: статистические материалы. – М.: ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, 2020–2023.

В сравнении с «доковидным» (2019), в 2023 г. заболеваемость (впервые выявленная) взрослого трудоспособного населения увеличилась на 4,7 % и составила 58027,8 $\frac{0}{0000}$. В классе болезней органов дыхания рост показателя составил 28,7 %. За годы анализа заболеваемость COVID-19 взрослого трудоспособного населения снижалась, в 2019 г. показатель составлял 3601,0 $\frac{0}{0000}$, в 2023 г. – 1474,4 $\frac{0}{0000}$.

Пандемия COVID-19 отразилась и на показателях общей заболеваемости населения РФ. Анализ заболеваемости (общей) взрослого трудоспособного населения РФ в динамике за 5 лет (2019–2023) также показал, что после снижения заболеваемости в «ковидном» 2020 г. произошел рост показателя на 1,7 % – с 123 870,0 $\frac{0}{0000}$ (в 2019) до 125 939,0 $\frac{0}{0000}$ (в 2023).

Результаты анализа определяют необходимость дальнейшего углубленного изучения показателей и причин роста заболеваемости (общей и впервые выявленной) взрослого трудоспособного населения на федеральном, региональном и муниципальном уровнях с целью разработки управленческих решений по реабилитации, диспансеризации пациентов трудоспособного возраста.

Важная роль в профилактике, диспансеризации и реабилитации пациентов принадлежит врачам-терапевтам участковым, при этом особо значима роль врача-специалиста общей практики (семейного) врача, в первую очередь на селе.

Изучение показало, что в целом в Российской Федерации обеспеченность врачами составила в 2023 г. 37,5 на 10 тыс. населения. В год COVID-19 (2020) обеспеченность возросла до 38,1 $\frac{0}{000}$, в по-

следующие годы несколько снизилась, но стала выше «доковидного» периода (2014–2018) (табл. 2).

Обеспеченность населения РФ врачами первичного звена здравоохранения суммарно терапевтами участковыми и ВОП за 10 лет анализа возросла с 3,68 до 4,03 $\frac{0}{000}$. Рост произошел в основном за счет терапевтов участковых – с 3,01 до 3,42 $\frac{0}{000}$. Обеспеченность ВОП за этот период снизилась с 0,67 до 0,61 $\frac{0}{000}$, что следует оценивать как негативную ситуацию, не способствующую развитию профилактической работы и здоровьесбережению населения, учитывая, что ВОП является основным специалистом, к которому пациенты обращаются впервые с заболеваниями, и он определяет необходимость посещения врачей-специалистов (табл. 2). Особо значим ВОП на селе, где он в большинстве случаев является единственным врачом, к которому обращаются жители.

Большое значение в организации лечебно-профилактической помощи трудоспособному населению принадлежит стационарозамещающим технологиям, дневным стационарам (ДС), организованным на базе медицинских организаций, оказывающих медицинскую помощь в амбулаторных условиях (далее – МОАУ). Эта форма работы является ресурсосберегающей, при этом ДС востребованы для населения трудоспособного возраста.

Изучение показало, что число пролеченных взрослых пациентов в ДС на базе МОАУ в РФ в 2023 г. составило более 5,4 млн человек (табл. 3). В год COVID-19 число пролеченных пациентов снизилось, затем последовал рост показателя, который в 2023 г. составил 46,6 на 1000 взрослого населения.

Таблица 2

Обеспеченность населения РФ врачами всего, в том числе терапевтами участковыми, ВОП и суммарно участковые терапевты и ВОП в динамике за 2014–2023 гг. на 10 тыс. населения⁵

Специальность	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Всего врачей	37,1	37,2	37,1	37,4	37,4	37,6	38,1	37,7	37,0	37,5
Терапевты участковые	3,01	3,01	2,98	2,98	3,04	3,11	3,23	3,29	3,31	3,42
ВОП	0,67	0,65	0,63	0,75	0,79	0,77	0,72	0,67	0,62	0,61
Суммарно терапевты участковые + ВОП	3,68	3,66	3,61	3,73	3,83	3,88	3,95	3,96	3,93	4,03

Таблица 3

Взрослые пациенты, пролеченные в ДС на базе МОАУ (в том числе стационары на дому), в РФ за 2019–2024 гг. (рассчитано авторами на основе формы отраслевой статистической отчетности № 14ДС)

Наименование	Годы анализа					% к итогу
	2019	2020	2021	2022	2023	
Взрослые пациенты, пролеченные в ДС на базе МОАУ, абс.	4 887 871	3 980 307	4 381 807	5 036 174	5 421 282	100,0
% к 2019–2023 гг.	100,0	81,4	89,65	103,0	110,9	
на 1000 взрослого населения	42,0	34,3	37,9	43,2	46,6	
В том числе:						
взрослые пациенты, пролеченные в ДС на базе МОАУ терапевтического профиля, абс.	2 257 902	1 467 952	1 732 855	2 041 973	2 209 638	40,8
% к 2019–2023 гг.	100,0	65,0	76,75	90,4	97,9	
на 1000 взрослого населения	19,4	12,65	15,0	17,5	19,0	

⁵ Ресурсы и деятельность медицинских организаций здравоохранения, 1 часть. Медицинские кадры: статистические материалы. – М.: ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, 2015–2023.



Рис. 4. Основные показатели деятельности отделений (кабинетов) медицинской профилактики в РФ (2019–2024) (рассчитано авторами на основе формы федерального статистического наблюдения № 30, табл. 4809)

Особо актуальны ДС терапевтического профиля на базе МОАУ. Число пролеченных взрослых пациентов в таких ДС в 2023 г. составило более 2,2 млн человек, их доля составила 40,8 % от общего числа взрослых пациентов, закончивших лечение в условиях ДС. Следует отметить, что за 5 лет анализа число пролеченных взрослых пациентов в ДС терапевтического профиля на базе МОАУ резко снизилось в 2020 г., в последующие годы отмечен рост показателя, и в 2023 г. он почти достиг значения 2019 г., составив 19,0 на 1000 соответствующего населения.

Проведенное изучение свидетельствует о необходимости руководителям органов и учреждений здравоохранения рассмотреть возможности активизации развития ДС терапевтического профиля с целью реабилитации пациентов с хронической патологией, вызванной или осложненной пандемией COVID-19.

Проведенный нами анализ показателей формы федерального статистического наблюдения № 30 показал, что число пациентов, обученных в школах разного профиля на базе отделений (кабинетов) медицинской профилактики в РФ (2023), составило более 1,2 млн, в сравнении с 2019 г. их количество возросло на 8,3 %.

По профилю обученные пациенты распределились следующим образом: наибольшую долю составили пациенты, прошедшие обучение в школах здорового образа жизни, – 26,5 %, по поводу артериальной гипертензии – 16,5 %, с сахарным диабетом – 10,3 %, в школах для беременных – 7,9 %, последующие места занимали обученные с ишемической болезнью сердца и перенесшие острый инфаркт миокарда (4,0 %), с сердечно-сосудистой недостаточностью (3,3 %), пациенты с бронхиальной

астмой и с заболеваниями суставов и позвоночника (по 2,9 %) и др. (рис. 4).

Следует указать на актуальность развития профильных школ для пациентов с целью профилактики обострения хронической патологии и повышения комплаентности пациентов и здоровьесбережения, в том числе трудоспособного возраста.

Выводы. Неблагополучная медико-демографическая ситуация является угрозой потере жизненного и трудового потенциала страны. За 5 лет (2019–2023) численность населения трудоспособного возраста возросла с 82,0 до 85,1 млн, что в определенной мере связано с пенсионной реформой.

Смертность населения трудоспособного возраста после значительного роста в «ковидном» 2020 г. снижалась, но осталась в 2023 г. несколько выше, чем в «доковидном» 2019 г., что указывает на необходимость здоровьесбережения трудового потенциала страны.

Проведенный анализ заболеваемости первичной и общей взрослого трудоспособного населения в Российской Федерации в «доковидном» 2019 г. и в годы пандемии (2020–2023) выявил рост определенных заболеваний, вызванных или осложненных COVID-19, которые требуют реабилитации, усиления диспансерной и профилактической работы.

Предложены организационные формы профилактической работы с населением, в том числе трудоспособного возраста.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки. Статья выполнена в рамках Государственного задания № 125030603227-5, 2025–2027 гг.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Хабриев Р.У., Щепин В.О., Миргородская О.В. Комплексная оценка целевых показателей здоровья населения Центрального федерального округа Российской Федерации // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2020. – Т. 28, № 3. – С. 349–354. DOI: 10.32687/0869-866X-2020-28-3-349-354
2. Секторы, заинтересованные в охране здоровья населения в субъекте Российской Федерации в условиях пандемии COVID-19 / В.А. Решетников, Н.Г. Коршевер, В.В. Роюк, С.А. Сидельников // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2022. – Т. 30, № 5. – С. 713–718. DOI: 10.32687/0869-866X-2022-30-5-713-718

3. Нормативные и правовые аспекты формирования основных детерминант общественного здоровья (обзор литературы) / И.А. Кирщина, Т.В. Шестакова, А.В. Солонина, А.Е. Крашенинников, Р.У. Хабриев // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2022. – Т. 30, № 5. – С. 746–752. DOI: 10.32687/0869-866X-2022-30-5-746-752
4. Мадьянова В.В., Какорина Е.П., Клокова Т.А. Особенности заболеваемости лиц старше трудоспособного возраста в Российской Федерации в 2012–2018 гг. // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2020. – Т. 28, № 2. – С. 207–215. DOI: 10.32687/0869-866X-2020-28-2-207-215
5. К вопросу о правовом обеспечении охраны репродуктивного здоровья девочек-подростков / Э.Н. Мингазова, А.В. Самойлова, А.А. Загоруйченко, Т.Н. Шигабутдинова, П.В. Железова // Менеджер здравоохранения. – 2020. – № 7. – С. 45–52. DOI: 10.37690/1811-0185-2020-7-45-52
6. Заболеваемость, инвалидность и смертность населения трудоспособного возраста в России / И.В. Бухтияров, Г.И. Тихонова, К.В. Бетц, М.С. Брылёва, Т.Ю. Горчакова, А.Н. Чуранова // Медицина труда и промышленная экология. – 2022. – Т. 62, № 12. – С. 791–796. DOI: 10.31089/1026-9428-2022-62-12-791-796
7. Рязанцев С.В., Ниорадзе Г.В. Трудовой потенциал старшего поколения: межрегиональный анализ // Уровень жизни населения регионов России. – 2022. – Т. 18, № 1. – С. 107–119. DOI: 10.19181/lspg.2022.18.1.9
8. Лапко И.В., Жеглова А.В., Богатырева И.А., Климкина К.В. Здоровьесберегающие мероприятия в профилактике заболеваний, ассоциированных с условиями труда // Здравоохранение Российской Федерации. – 2021. – Т. 65, № 4. – С. 372–378. DOI: 10.47470/0044-197X-2021-65-4-372-378
9. Сагинова С.А., Стукач В.Ф., Султанова Г.Т. Эконометрический анализ развития трудового потенциала АПК Казахстана // Проблемы агрорынка. – 2024. – № 1. – С. 207–218. DOI: 10.46666/2024-1.2708-9991.18
10. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография: в 2 т. / Г. Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Пермь: Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, 2024. – 580 с.
11. Методы комплексной оценки общественного здоровья в связи с факторами среды обитания на основе использования интегральных показателей. Описательный обзор (сообщение 1) / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, М.В. Глухих // Здравоохранение Российской Федерации. – 2024. – Т. 68, № 6. – С. 449–458. DOI: 10.47470/0044-197X-2024-68-6-449-458
12. Факторы образа жизни в риске развития хронических неинфекционных заболеваний у лиц молодого возраста (метаанализ данных литературы) / Г.Г. Онищенко, Т.В. Жукова, Н.А. Горбачева, Н.И. Латышевская, Т.П. Васильева, С.Н. Белик, А.Ю. Шатов // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 4. – С. 187–202. DOI: 10.21668/health.risk/2024.4.16
13. Груздева О.А. Об особенностях демографической политики в России в условиях пандемии // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. – 2021. – № 1 (33). – С. 12–16.
14. Есипов А.В., Алехнович А.В., Абушинов В.В. COVID-19: первый опыт оказания медицинской помощи и возможные решения проблемных вопросов (обзор) // Госпитальная медицина: наука и практика. – 2020. – № 1. – С. 5–8. DOI: 10.34852/GM3CVKG.2021.11.80.001
15. Lessons learned 1 year after SARS-CoV-2 emergence leading to COVID-19 pandemic / K.K.-W. To, S. Sridhar, K.H.-Y. Chiu, D.L.-L. Hung, X. Li, I.F.-N. Hung, A.R. Tam, T.W.-H. Chung [et al.] // Emerg. Microbes Infect. – 2021. – Vol. 10, № 1. – P. 507–535. DOI: 10.1080/22221751.2021.1898291
16. Singhal T. A Review of Coronavirus Disease-2019 (COVID-19) // Indian J. Pediatr. – 2020. – Vol. 87, № 4. – P. 281–286. DOI: 10.1007/s12098-020-03263-6
17. Prevalence and impact of cardiovascular metabolic diseases on COVID-19 in China / B. Li, J. Yang, F. Zhao, L. Zhi, X. Wang, L. Liu, Z. Bi, Y. Zhao // Clin. Res. Cardiol. – 2020. – Vol. 109, № 5. – P. 531–538. DOI: 10.1007/s00392-020-01626-9
18. Шипова В.М., Кизеев М.В., Магомедова З.А. Медицинская реабилитация: планирование, организация, нормы труда // Бюллетень Национального научно-исследовательского института общественного здоровья имени Н.А. Семашко. – 2023. – № 2. – С. 103–109. DOI: 10.25742/NRIPH.2023.02.015
19. Профилактика хронических неинфекционных заболеваний в Российской Федерации. Национальное руководство 2022 / О.М. Драпкина, А.В. Концевая, А.М. Калинина, С.Н. Авдеев, М.В. Агальцов, Л.М. Александрова, А.А. Анциферова, Д.М. Аронов [и др.] // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 5–232. DOI: 10.15829/1728-8800-2022-3235
20. Аликова З.Р., Анаева Л.А., Ремизов О.В. Результаты профилактических медицинских осмотров как индикатор эффективности региональной политики в области охраны здоровья детей // Бюллетень Национального научно-исследовательского института общественного здоровья имени Н.А. Семашко. – 2022. – № 4. – С. 148–152. DOI: 10.25742/NRIPH.2022.04.028
21. Анализ заболеваемости и кадровое обеспечение населения сельских территорий в Российской Федерации / А.А. Калининская, Э.А. Бакирова, А.В. Лазарев, С.И. Шляфер, М.В. Кизеев // Менеджер здравоохранения. – 2022. – № 7. – С. 42–51. DOI: 10.21045/1811-0185-2022-7-42-51
22. Бантьева М.Н., Манюшкина Е.М. Врач общей практики: показатели деятельности в Российской Федерации и федеральных округах за 2010–2019 годы // Социальные аспекты здоровья населения. – 2022. – Т. 68, № 3. – С. 4. DOI: 10.21045/2071-5021-2022-68-3-4
23. Определение приоритетности компетенций врачей общей практики (семейных врачей) Российской Федерации: обоснование и протокол исследования / С.Ю. Астанина, Р.Н. Шепель, О.Ю. Кузнецова, Т.В. Самойлов, Ф.В. Докшукина, О.М. Драпкина // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2023. – Т. 22, № 3S. – С. 43–50. DOI: 10.15829/1728-8800-2023-3859
24. Астанина С.Ю., Шепель Р.Н., Драпкина О.М. Теоретико-методологические основы подготовки врачей-лечебников, врачей-терапевтов, врачей общей практики (семейных врачей) // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2025. – Т. 24, № 1S. – С. 6–17. DOI: 10.15829/1728-8800-2024-4392
25. Фомин В. Во всех вопросах, касающихся здоровья, врач общей практики должен быть первым, к кому идет пациент // Московская медицина. – 2020. – № 1 (35). – С. 6–11.
26. Кенеспаев М.Қ., Тұрсынбет Т.Е. Жалпы тәжірибелік дәрігерлердің жұмысының тиімділігі мәселесі [Problems of the effectiveness of the work of general practitioners] // Journal of Health Development. – 2022. – Vol. 2, № 46. – P. 49–59. DOI: 10.32921/2225-9929-2022-2-46-49-59

27. Драпкина О.М., Масленникова Г.Я., Шепель Р.Н. Стратегии профилактики заболеваний: роль врача общей практики и первичного звена здравоохранения // Профилактическая медицина. – 2021. – Т. 24, № 8. – С. 7–14. DOI: 10.17116/profmed2021240817
28. Valls Martínez M.D.C., Ramírez-Orellana A., Grasso M.S. Health Investment Management and Healthcare Quality in the Public System: A Gender Perspective // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2021. – Vol. 18, № 5. – P. 2304. DOI: 10.3390/ijerph18052304
29. Salas M. Day Hospital as an Alternative to Traditional Inpatient Care: A Systematic Review // Health Services Research. – 2020. – Vol. 55, № 1. – P. 45–60.
30. Pérez R. Evaluating the Impact of Day Hospitals on Patient Outcomes and Health Systems // Health Policy and Planning. – 2020. – Vol. 35, № 4. – P. 465–472.
31. Эффективность использования стационарозамещающих технологий в условиях университетской клиники / I.S. Moldaliyev, B. Eleuov, Ye. Aliev, Z. Alieva // Theoretical & Applied Science. – 2020. – № 5 (85). – С. 540–543.
32. Conducting Outcomes Research in a Clinical Practice Setting: The Effectiveness and Acceptability of Acceptance and Commitment Therapy (ACT) in a Partial Hospital Program / T.A. Morgan, K. Dalrymple, C. D'Avanzato, S. Zimage, C. Balling, M. Ward, M. Zimmerman // Behav. Ther. – 2021. – Vol. 52, № 2. – P. 272–285. DOI: 10.1016/j.beth.2020.08.004
33. Шляфер С.И. Сравнительный анализ состава пациентов дневных стационаров и стационаров на дому // Медицина. – 2020. – Т. 8, № 4 (32). – С. 1–12. DOI: 10.29234/2308-9113-2020-8-4-1-12
34. Аликова З.Р., Сердюк Н.В., Родионова В.Е. Медико-социальные аспекты эффективности лечения лиц пожилого возраста с гипертонической болезнью в дневных стационарах // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. – 2021. – Т. 10, № S2. – С. 111.
35. Организационная модель оказания медицинской помощи при постковидном синдроме / И.Б. Шикина, С.И. Шляфер, Л.А. Сопрун, Н.Ю. Гаврилова, И.М. Акулин // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2022. – № 4. – С. 787–803. DOI: 10.24412/2312-2935-2022-4-787-803
36. Дневные стационары как профилактическая госпитализация пациентов трудоспособного возраста / А.А. Калининская, О.Е. Коновалов, М.Д. Меркина, Л.А. Бальзамова, Т.В. Чижикова // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2021. – Т. 29, № 4. – С. 957–962. DOI: 10.32687/0869-866X-2021-29-4-957-962

Хабриев Р.У., Калининская А.А. Анализ медико-демографической ситуации и совершенствование профилактической работы с населением трудоспособного возраста в Российской Федерации // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 147–156. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.14

UDC 614.2

DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.14.eng



Research article

ANALYSIS OF THE MEDICAL-DEMOGRAPHIC SITUATION AND IMPROVEMENT OF PREVENTIVE WORK WITH WORKING AGE POPULATION IN THE RUSSIAN FEDERATION

R.U. Khabriev, A.A. Kalininskaya

National Research Institute of Public Health named after N.A. Semashko, 12 Vorontsovo Pole Str., build. 1, Moscow, 105064, Russian Federation

The research object of the study is represented by the adult working age population of the Russian Federation.

The aim of the study is to develop proposals for improving preventive work with the population based on investigating medical and demographic indicators and analysis of morbidity among the adult working age population of the Russian Federation.

© Khabriev R.U., Kalininskaya A.A., 2026

Ramil U. Khabriev – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Scientific Director (e-mail: khabriev_r@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2283-376X>).

Aleftina A. Kalininskaya – Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Public Health Research Department (e-mail: akalinskaya@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6984-6536>).

The study relied on using analytical methods, statistical methods, and direct observation. We used data provided by Rosstat and the Russian research Institute of Health, the RF Ministry of Health, over the period 2014–2023 and data taken from federal and branch statistical reports.

Over five years (2019–2023), the working-age population increased from 82 to 85 million. The mortality rate of the population of the Russian Federation decreased after a sharp rise in the year of COVID-19 (2019) and in 2023 the indicator became lower than in 2019, amounting to 1206.2 ‰. At the same time, the mortality rate of the working-age population decreased after a sharp increase in 2020, but in 2023 it remained slightly higher than in the pre-COVID period, which determines the importance of preserving the health of the country's human resources. In the structure of newly identified morbidity of the adult working-age population of the Russian Federation (in 2023), the class of respiratory diseases is in the first place (more than 40 %), followed by injuries, poisoning and some other consequences of exposure to external causes, diseases of the genitourinary system, diseases of the skin and subcutaneous tissue, etc. Analysis of the primary and general morbidity of the adult working-age population in the Russian Federation in dynamics in the pre-COVID year (2019) and the years of the pandemic (2020–2023) revealed an increase in certain diseases caused or complicated by COVID-19, which require rehabilitation, more intensive preventive work and mass health examinations with wider coverage.

In conclusion, we propose some organization forms of preventive work with the population, including working age population.

Keywords: adult working-age population, mortality, morbidity (general and newly diagnosed), disease classes, ranking of the Russian region, doctors, day hospitals, schools for patients.

References

1. Khabriev R.U., Schepin V.O., Mirgorodskaya O.V. The complex evaluation of target indices population health in the Central Federal Okrug of the Russian Federation. *Problemy sotsialnoi gigieny, zdavookhraneniya i istorii meditsiny*, 2020, vol. 28, no. 3, pp. 349–354. DOI: 10.32687/0869-866X-2020-28-3-349-354 (in Russian).
2. Reshetnikov V.A., Korshever N.G., Royuk V.V., Sidelnikov S.A. Sectors involved in public health in the Russian Federation during COVID-19 pandemic. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdavookhraneniya i istorii meditsiny*, 2022, vol. 30, no. 5, pp. 713–718. DOI: 10.32687/0869-866X-2022-30-5-713-718 (in Russian).
3. Kirshchina I.A., Shestakova T.V., Soloninina A.V., Krashennnikov A.E., Habriev R.U. Normative and legal aspects of the formation of the basic prerequisites of public health (publications review). *Problemy sotsial'noi gigieny, zdavookhraneniya i istorii meditsiny*, 2022, vol. 30, no. 5, pp. 746–752. DOI: 10.32687/0869-866X-2022-30-5-746-752 (in Russian).
4. Madyanova V.V., Kakorina E.P., Klokov T.A. The characteristics of morbidity of population older than able-bodied age in the Russian Federation in 2012–2018. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdavookhraneniya i istorii meditsiny*, 2020, vol. 28, no. 2, pp. 207–215. DOI: 10.32687/0869-866X-2020-28-2-207-215 (in Russian).
5. Mingazova E.N., Samojlova A.V., Zagorujchenko A.A., Shigabutdinova T.N., Zhelezova P.V. On the issue of legal protection of adolescent girls' reproductive health. *Menedzher zdavookhraneniya*, 2020, no. 7, pp. 45–52. DOI: 10.37690/1811-0185-2020-7-45-52 (in Russian).
6. Bukhtiyarov I.V., Tikhonova G.I., Betts K.V., Bryleva M.S., Gorchakova T.Yu., Churanova A.N. Morbidity, disability and mortality of the working-age population in Russia. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2022, vol. 62, no. 12, pp. 791–796. DOI: 10.31089/1026-9428-2022-62-12-791-796 (in Russian).
7. Ryazantsev S.V., Nioradze G.V. The Labour Potential of Older Generation: Interregional Analysis. *Uroven' zhizni naseleniya regionov Rossii*, 2022, vol. 18, no. 1, pp. 107–119. DOI: 10.19181/Ispr.2022.18.1.9 (in Russian).
8. Lapko I.V., Zheglova A.V., Bogatyreva I.A., Klimkina K.V. Health-saving measures in preventing diseases associated with working conditions. *Zdavookhranenie Rossiiskoi Federatsii*, 2021, vol. 65, no. 4, pp. 372–378. DOI: 10.47470/0044-197X-2021-65-4-372-378 (in Russian).
9. Saginova S., Stukach V., Sultanova G. Econometric analysis of the development of labor potential of agro-industrial complex of Kazakhstan. *Problems of AgriMarket*, 2024, no. 1, pp. 207–218. DOI: 10.46666/2024-1.2708-9991.18
10. Onishchenko G.G., Zaitseva N.V., Popova A.Yu. [et al.]. Analiz riska zdorov'yu v strategii gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya [Health risk analysis in the strategy of state socio-economic development]: monograph: in 2 volumes, 2nd ed., rev. and suppl. Moscow, Perm, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies Publ., 2024, 580 p. (in Russian).
11. Onishchenko G.G., Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Glukhikh M.V. Methods for complex population health evaluation in relation to environmental factors based on use of integral indices. Descriptive review (Report 1). *Zdavookhranenie Rossiiskoi Federatsii*, 2024, vol. 68, no. 6, pp. 449–458. DOI: 10.47470/0044-197X-2024-68-6-449-458 (in Russian).
12. Onishchenko G.G., Zhukova T.V., Gorbacheva N.A., Latyshevskaya N.I., Vasilieva T.P., Belik S.N., Shatov A.Yu. Lifestyle factors in risks of chronic non-communicable diseases in young people (literature meta-analysis). *Health Risk Analysis*, 2024, no. 4, pp. 187–202. DOI: 10.21668/health.risk/2024.4.16.eng
13. Gruzdeva O.A. Ob osobennostyakh demograficheskoi politiki v Rossii v usloviyakh pandemii [Peculiarities of Demographic Policy in Russia during the Pandemic]. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya ekonomiki: rossiiskii i zarubezhnyi opyt*, 2021, no. 1 (33), pp. 12–16 (in Russian).
14. Esipov A.V., Alekhovich A.V., Abushinov V.V. First experience in providing medical care and possible solutions to problems (review). *Gospital'naya meditsina: nauka i praktika*, 2020, no. 1, pp. 5–8 (in Russian).
15. To K.K.-W., Sridhar S., Chiu K.H.-Y., Hung D.L.-L., Li X., Hung I.F.-N., Tam A.R., Chung T.W.-H. [et al.]. Lessons learned 1 year after SARS-CoV-2 emergence leading to COVID-19 pandemic. *Emerg. Microbes Infect.*, 2021, vol. 10, no. 1, pp. 507–535. DOI: 10.1080/22221751.2021.1898291
16. Singhal T. A Review of Coronavirus Disease-2019 (COVID-19). *Indian J. Pediatr.*, 2020, vol. 87, no. 4, pp. 281–286. DOI: 10.1007/s12098-020-03263-6

17. Li B., Yang J., Zhao F., Zhi L., Wang X., Liu L., Bi Z., Zhao Y. Prevalence and impact of cardiovascular metabolic diseases on COVID-19 in China. *Clin. Res. Cardiol.*, 2020, vol. 109, no. 5, pp. 531–538. DOI: 10.1007/s00392-020-01626-9
18. Shipova V.M., Magomedova Z.A., Kizeev M.V. Medical rehabilitation: planning, organization, labor standards. *Byulleten' Natsional'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta obshchestvennogo zdorov'ya imeni N.A. Semashko*, 2023, no. 2, pp. 103–109. DOI: 10.25742/NRIPH.2023.02.015 (in Russian).
19. Drapkina O.M., Kontsevaya A.V., Kalinina A.M., Avdeev S.M., Agaltsov M.V., Alexandrova L.M., Antsiferova A.A., Aronov D.M. [et al.]. 2022 Prevention of chronic non-communicable diseases in the Russian Federation. National guidelines. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, 2022, vol. 21, no. 4, pp. 5–232. DOI: 10.15829/1728-8800-2022-3235 (in Russian).
20. Alikova Z.R., Anaeva L.A., Remizov O.V. Results of preventive medical examinations as an indicator of the effectiveness of regional policy in the field children's health. *Byulleten' Natsional'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta obshchestvennogo zdorov'ya imeni N.A. Semashko*, 2022, no. 4, pp. 148–152. DOI: 10.25742/NRIPH.2022.04.028 (in Russian).
21. Kalininskaya A.A., Bakirova E.A., Lazarev A.V., Shlyafers S.I., Kizeev M.V. Analysis of morbidity and staffing of the population of rural areas in the Russian Federation. *Menedzher zdravookhraneniya*, 2022, no. 7, pp. 42–51. DOI: 10.21045/1811-0185-2022-7-42-51 (in Russian).
22. Banteva M.N., Manoshkina E.M. General practitioner: performance indicators in the Russian Federation and Federal districts in 2010–2019. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2022, vol. 68, no. 3, pp. 4. DOI: 10.21045/2071-5021-2022-68-3-4 (in Russian).
23. Astanina S.Yu., Shepel R.N., Kuznetsova O.Yu., Samoilo T.V., Dokshukina F.V., Drapkina O.M. Determination of the priority competencies of general practitioners (family doctors) in the Russian Federation: rationale and research protocol. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, 2023, vol. 22, no. 3S, pp. 43–50. DOI: 10.15829/1728-8800-2023-3859 (in Russian).
24. Astanina S.Yu., Shepel R.N., Drapkina O.M. Theoretical and methodological foundations for the training of physicians, internists, general practitioners (family doctors). *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, 2025, vol. 24, no. 1S, pp. 6–17. DOI: 10.15829/1728-8800-2024-4392 (in Russian).
25. Fomin V. Vo vsehkh voprosakh, kasayushchikhsya zdorov'ya, vrach obshchei praktiki dolzhen byt' pervym, k komu idet patsient [In all matters concerning health, the general practitioner should be the first person the patient goes to]. *Moskovskaya meditsina*, 2020, no. 1 (35), pp. 6–11 (in Russian).
26. Kenespaev M.K., Tursynbet T.E. Problems of the effectiveness of the work of general practitioners. *Journal of Health Development*, 2022, vol. 2, no. 46, pp. 49–59. DOI: 10.32921/2225-9929-2022-2-46-49-59
27. Drapkina O.M., Maslennikova G.Ya., Shepel R.N. Strategies for diseases prevention: the role of the general practitioner and primary health care. *Profilakticheskaya meditsina*, 2021, vol. 24, no. 8, pp. 7–14. DOI: 10.17116/profmed2021240817
28. Valls Martínez M.D.C., Ramírez-Orellana A., Grasso M.S. Health Investment Management and Healthcare Quality in the Public System: A Gender Perspective. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, no. 5, pp. 2304. DOI: 10.3390/ijerph18052304
29. Salas M. Day Hospital as an Alternative to Traditional Inpatient Care: A Systematic Review. *Health Services Research*, 2020, vol. 55, no. 1, pp. 45–60.
30. Pérez R. Evaluating the Impact of Day Hospitals on Patient Outcomes and Health Systems. *Health Policy and Planning*, 2020, vol. 35, no. 4, pp. 465–472.
31. Moldaliyev I.S., Eleuov B., Aliev Ye., Alieva Z. Efficiency of use of stationary mixing technologies in the conditions of the university clinic. *Theoretical & Applied Science*, 2020, no. 5 (85), pp. 540–543.
32. Morgan T.A., Dalrymple K., D'Avanzato C., Zimage S., Balling C., Ward M., Zimmerman M. Conducting Research Outcomes in a Clinical Practice Setting: The Effectiveness and Acceptability of Acceptance and Commitment Therapy (ACT) in a Partial Hospital Program. *Behav. Ther.*, 2021, vol. 52, no. 2, pp. 272–285. DOI: 10.1016/j.beth.2020.08.004
33. Shlyafers S.I. Comparative analysis of the composition of patients in day hospitals and in in-home health care. *Meditsina*, 2020, vol. 8, no. 4 (32), pp. 1–12. DOI: 10.29234/2308-9113-2020-8-4-1-12 (in Russian).
34. Alikova Z.R., Serdyuk N.V., Rodionova V.E. Mediko-sotsial'nye aspekty effektivnosti lecheniya lits pozhilogo vozrasta s gipertonicheskoi bolezn'yu v dnevnykh statsionarakh [Medical and social aspects of the effectiveness of treatment of elderly people with hypertension in day hospitals]. *Kompleksnye problemy serdechno-sosudistykh zabolevaniy*, 2021, vol. 10, no. S2, pp. 111 (in Russian).
35. Shikina I.B., Shlyfer S.I., Soprun L.A., Gavrilova N.Yu., Akulin I.M. Organizational model of medical care for postcovid syndrome. *Sovremennye problemy zdravookhraneniya i meditsinskoj statistiki*, 2022, no. 4, pp. 787–803. DOI: 10.24412/2312-2935-2022-4-787-803 (in Russian).
36. Kalininskaya A.A., Konovalov O.E., Merekina M.D., Balsamova L.A., Chizhikova T.V. The day hospitals as preventive hospitalization of patients of able-bodied age. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny*, 2021, vol. 29, no. 4, pp. 957–962. DOI: 10.32687/0869-866X-2021-29-4-957-962 (in Russian).

Khabriev R.U., Kalininskaya A.A. Analysis of the medical-demographic situation and improvement of preventive work with working age population in the Russian Federation. Health Risk Analysis, 2026, no. 1, pp. 147–156. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.14.eng

Получена: 30.08.2025

Одобрена: 10.02.2026

Принята к публикации: 26.03.2026

Научная статья

СМЕРТНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ: СТРУКТУРА, ТЕНДЕНЦИИ, ДЕТЕРМИНАНТЫ ПРЕДОТВРАТИМОСТИ**А.Б. Джаналиев, Н.К. Касиев, О.А. Болбачан, Д.Д. Ибраимова, М.А. Мамбетов**

Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина, Кыргызская Республика, 720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44

Анализируются тенденции изменения показателей смертности населения Кыргызской Республики в 2018–2023 гг. с учетом влияния пандемии COVID-19 и социально-демографических факторов. Исследования заключались в выявлении закономерностей изменений показателей смертности по основным классам заболеваний и определении медико-социальных детерминант, влияющих на уровень предотвратимой смертности. Результаты рассматриваются как база для последующих рисков медико-демографических потерь государства.

В анализе использованы официальные данные Центра электронного здравоохранения Министерства здравоохранения Кыргызской Республики по основным классам болезней в соответствии с МКБ-10. Выполнен расчет показателей динамического ряда и сравнительное сопоставление данных по регионам, включая Чуйскую область.

Результаты исследования показали, что пандемия COVID-19 вызвала резкий рост смертности в 2020 г., после чего отмечается постепенное снижение и стабилизация показателей. Основной вклад в структуру смертности вносили болезни органов кровообращения, дыхания, новообразования и эндокринные заболевания. В 2020–2021 гг. зафиксировано существенное увеличение смертности от сердечно-сосудистых и респираторных болезней, что согласуется с мировыми тенденциями избыточной смертности в условиях пандемии. В то же время выявлены выраженные региональные различия и устойчиво высокий уровень предотвратимой смертности среди сельского населения, обусловленный ограниченной доступностью медицинской помощи и низкой информированностью о факторах риска.

Анализ подтверждает, что динамика смертности определяется не только медицинскими, но и социально-экономическими и экологическими факторами. Результаты подчеркивают необходимость совершенствования системы мониторинга причин смерти, повышения качества профилактической и диагностической работы, а также укрепления первичного звена здравоохранения. Представленные данные имеют практический интерес для специалистов в области общественного здоровья, демографии и социальной политики, поскольку позволяют оценить потенциальные риски и выработать эффективные меры управления демографическими процессами.

Комплексный подход к управлению рисками медико-демографических потерь должен стать основой для разработки национальных стратегий, направленных на снижение предотвратимой смертности и повышение продолжительности жизни населения Кыргызской Республики.

Ключевые слова: смертность, болезни органов кровообращения, болезни органов дыхания, новообразования, травмы и отравления, система здравоохранения, демография, заболевания, предотвратимая смертность, COVID-19.

Смертность населения является одной из важнейших характеристик демографической ситуации, она оказывает большое влияние на многие сферы общественной жизни: является одним из ключевых показателей, отражающих уровень социально-экономического развития, состояние

системы здравоохранения и качество жизни населения [1, 2].

В последние годы наблюдается негативная тенденция увеличения смертности среди населения, что требует принятия дополнительных мер для улучшения ситуации. Однако, несмотря на общее сниже-

© Джаналиев А.Б., Касиев Н.К., Болбачан О.А., Ибраимова Д.Д., Мамбетов М.А., 2026

Джаналиев Азамат Болотбекович – преподаватель кафедры общественного здоровья и здравоохранения, докторант по направлению 561000 «Общественное здравоохранение и медицина» (e-mail: djanalieff@mail.ru; тел.: +996 501 70-01-66; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4498-7984>).

Касиев Накен Касиевич – почетный академик Национальной академии наук Кыргызской Республики, заведующий кафедрой общественного здоровья и здравоохранения (e-mail: ozizk@mail.ru; тел.: +996 554 52-04-20; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0718-6878>).

Болбачан Ольга Александровна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общественного здоровья и здравоохранения (e-mail: ozizk@mail.ru; тел.: +996 556 71-17-41; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3813-3269>).

Ибраимова Джылдыз Джумадилловна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общественного здоровья и здравоохранения (e-mail: ibraimova_70@mail.ru; тел.: +996 559 92-10-14; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7220-1168>).

Мамбетов Марат Авалович – доктор медицинских наук, профессор кафедры общественного здоровья и здравоохранения (e-mail: m.mambetov2012@gmail.com; тел.: +996 777 95-50-55; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1513-037X>).

ние, наблюдается значительная неоднородность – темпы смертности различаются по возрасту, полу и регионам [3, 4].

Кроме того, на смертность оказывает влияние не только традиционная нагрузка хронических неинфекционных заболеваний, но и экологические и социальные детерминанты. Так, в глобальном исследовании показано, что смертность от инфекционных заболеваний претерпела тенденции изменения, причем регионы с низким и средним индексом социально-демографического развития сталкиваются с более высоким бременем [5].

Региональные структуры смертности населения отображают распределение вероятностей смертей в различных возрастных группах в определенной географической области в течение определенного периода. Структуры смертности населения, на которые влияют биомедицинские, демографические, социально-экономические и экологические факторы, являются важнейшими индикаторами, отражающими демографические изменения. Среди этих факторов социально-экономические играют значительную роль в формировании региональных структур смертности населения и составляют ключевой объект демографических исследований [6, 7].

После пандемии COVID-19, негативно повлиявшей на показатели смертности во всем мире, интерес к оценке долгосрочных перспектив медико-демографической ситуации усилился [8–10].

В последние годы в Кыргызской Республике наблюдаются существенные колебания показателей смертности по классам заболеваний, что особенно ярко проявилось в период 2020–2021 гг. на фоне пандемии COVID-19. Тяжелый острый респираторный синдром коронавируса 2-го типа (SARS-CoV-2) спровоцировал пандемию и привел к глобальной чрезвычайной ситуации в области общественного здравоохранения и ответным мерам исторического масштаба¹. Болезнь, получившая название коронавируса-19 (COVID-19), заразила миллионы и оказала обширное влияние на управление болезнями и смертность: напрямую – через распространение в сообществе, и косвенно – через сбои в процессах скрининга, диагностики и лечения [11]. Системы здравоохранения были вынуждены реструктурироваться и адаптироваться к новой болезни, обеспечивая при этом непрерывное предоставление плановой и неотложной помощи при других состояниях. Было высказано предположение, что прерывание жизненно важных медицинских услуг, включая направления к специалистам, диагностику и лечение, способствует избыточной смертности от сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) и рака [12, 13]. В нескольких исследованиях сообщалось о избыточной смертно-

сти от ССЗ, рака и респираторных заболеваний во время пандемии [14–17]. Согласно результатам анализа, проведенного по данным официальной статистики, общий уровень смертности в стране в 2020 г. увеличился на 17,8 %, что совпадает с общемировыми тенденциями роста избыточной смертности, зафиксированными в исследованиях Всемирной организации здравоохранения [18]. Наиболее высокий вклад в структуру смертности внесли болезни органов кровообращения, органов дыхания, новообразования и эндокринные расстройства, что согласуется с результатами аналогичных исследований в странах СНГ [19, 20].

Смертность сельского населения выше, чем городского [21]. Это обусловлено ограниченной доступностью медицинской помощи, недостаточной информированностью населения о факторах риска и социально-гигиеническими особенностями образа жизни.

Поэтому, как отмечает О.С. Кобякова и соавт. (2025), для объективной оценки уровня предотвратимой смертности необходимо проведение углубленного анализа причин смерти населения с учетом возрастного-половой структуры, характера заболеваний и условий оказания медицинской помощи. Такой анализ позволяет выделить долю смертей, которые могли быть предотвращены при своевременном выявлении, адекватном лечении и эффективной организации медицинской помощи. Изучение причин смерти по нозологическим формам, видам заболеваний и обстоятельствам их возникновения является основой для определения структуры предотвратимой смертности, а также для выявления приоритетных направлений совершенствования профилактической и лечебно-диагностической работы в системе здравоохранения [22].

Актуальность исследования определяется необходимостью научного анализа причин смертности сельского населения Кыргызской Республики с целью разработки эффективных медико-социальных стратегий по снижению предотвратимой смертности и выравниванию региональных различий. Полученные результаты могут быть использованы при планировании национальных программ общественного здоровья и оптимизации деятельности первичного звена медицинской помощи.

Цель исследования – комплексный анализ тенденций и динамики структуры смертности населения Кыргызской Республики по причинам смерти с учетом влияния пандемии COVID-19 и медико-демографических факторов.

Материалы и методы. В исследовании использованы данные официальной статистики Центра электронного здравоохранения Министерства

¹ WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 – 11 March 2020 [Электронный ресурс] // WHO. – 2020. – URL: <https://www.who.int/news-room/speeches/item/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020> (дата обращения: 12.11.2025).

здравоохранения Кыргызской Республики за период 2018–2023 гг. Проведен статистический анализ смертности по основным классам заболеваний согласно МКБ-10. Рассчитаны показатели динамического ряда (абсолютный прирост, темп прироста), проведен сравнительный анализ показателей по годам. Дополнительно выполнено изучение региональных особенностей на примере Чуйской области. Чуйская область является наиболее промышленно- и сельскохозяйственно-развитым регионом. Для области характерна средняя рождаемость, средний уровень смертности, невысокое значение естественного прироста и высокий уровень внутренней миграции киргизов из других областей. Область сохраняет позиции ведущего драйвера экономики Кыргызстана. Объем промышленного производства региона достиг уровня, при котором региональный продукт достиг 205 млрд сомов, обеспечив рост на 12 %, по итогам 2025 г. В настоящее время Чуйская область переживает этап активного промышленного развития. Особое внимание уделяется пищевой промышленности, наблюдается рост в секторе производства строительных материалов, их объем увеличился почти в 1,5 раза². Чуйская область и г. Бишкек остаются важнейшими экономическими центрами страны. Современная Бишкекская агломерация – важнейший политический, финансовый, транспортный, научный и образовательный центр страны [23].

Результаты и их обсуждение. Установлено, что в сравнении с 2018 г., когда смертность населения в республике составляла 521,7 сл./100 тыс. человек, к 2019 г. наблюдалась тенденция снижения смертности: убыль составила -1,1 % (515,7 сл./100 тыс. человек). В 2020 г. показатель резко возрос на +17,8 %, смертность составила 607,5 сл./100 тыс. человек. Однако уже в 2021 г. было зафиксировано снижение на 14,5 %. В 2022 и 2023 гг. сохранялась тенденция снижения смертности на -22,5 % (до 450,2 сл./100 тыс.) и на -1,4 % (до 443,7 сл./100 тыс.) (табл. 1).

Некоторые инфекционные и паразитарные болезни в исследуемые годы имели в основном тенденцию снижения, за исключением 2022 г. Так, в 2018 г. показатель смертности по причинам составил 11,7 сл./1000 чел., а в 2019 г., 2020, 2021, 2023 гг. снижался.

За весь исследуемый период наблюдения фиксировалось снижение смертности от новообразований на -2,2; -0,4; -6,7; -8,0 % при показателе в данные годы случаев на 100 тыс. всего населения: 65,6; 64,1; 63,8; 59,5 и 54,7 по темпу прироста до 57,3 сл./100 тыс. человек.

Болезни крови, кроветворных органов и отдельных нарушений, вовлекающих иммунный механизм, по причине смертности в 2018 г. составили

0,5 случая на 100 тыс. человек. В 2019 г. этот показатель увеличился в сравнении с 2018 г. +20,0 % (до 0,6 сл./100 тыс.). В дальнейшем отмечалось волнообразное изменение показателя. В 2020 г. наблюдалось снижение на -16,6 %, в 2021 г. смертность вновь возросла на +20,0 % до уровня 2018 г. В 2022 г. наблюдалось опять снижение показателя на -16,6 %, однако в 2023 г. смертность по причине болезни крови, кроветворных органов резко возросла на +80,0 %, достигнув уровня 0,9 сл./100 тыс. человек.

Смертность по причинам от болезней эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ снизилась в 2019, 2021 и 2022 гг., при увеличении показателя в 2020 и 2023 гг. В 2018 г. число случаев составило 7,7 сл./100 тыс. В 2019 г. зафиксировано снижение на 3,8 % (до 7,4 сл./100 тыс.). В 2020 г. отмечалось резкое увеличение этого показателя на +39,1 % – до 10,3 сл./1000 тыс., однако в 2021 г. показатель снизился -27,1 % (до 7,5 сл./100 тыс.). В 2022 г. смертность по причинам снижается на -12,0 %, в 2023 г. – возрастает на +6,0 %. Таким образом, для смертности по данному классу характерна волнообразная тенденция снижения и увеличения показателя.

Смертность по причинам заболеваний нервной системы с 2019 по 2022 г. снижалась, за исключением 2023 г. В 2018 г. показатель находился на уровне 7,3 сл./100 тыс., в 2019 г. снизился по темпу убыли 2,7 % (до 7,1 сл./100 тыс.). Снижение в 2020 г. составило -9,8 % (до 6,4 сл./100 тыс.), в 2021 г. – -6,2 % (до 6,0), в 2022 г. – -5,0 % (5,7 сл./100 тыс.). Однако в 2023 г. наблюдалось резкое увеличение показателя на +36,8 %.

Болезни органов кровообращения в 2019 и 2020 гг. стали частой причиной смертности. Показатель характеризовался значительным уровнем и составил в 2018 г. 265,7 сл./100 тыс. человек. Более того, зафиксировано динамическое увеличение на +0,1 % в 2019 г. и +19,3 % в 2020 г. (до 317,8 сл./100 тыс.). В 2021, 2022 и 2023 гг. показатель системно снижался на -6,5, -21,0 и -0,7 % и составил на 2023 г. 232,7 сл./100 тыс. человек.

Смертность по причине болезней органов дыхания имела волнообразную кривую изменения. В 2019 г., по сравнению с 2018 г., отмечено увеличение на +3,2 % (до 28,8 сл./100 тыс.), в 2020 г. – на +43,4 % (до 41,3 сл./100 тыс.), и +13,0 % (27,8 сл./100 тыс.) в 2023 г. Снижение показателя смертности наблюдалось в 2021 г. на -38,5 % и в 2022 г. – на -3,5 % (см. табл. 1).

Смертность по причине болезней органов пищеварения за весь период исследования имела отрицательную динамику, постепенно снижаясь с 33,1 сл./100 тыс. в 2018 г. до 22,9 сл./100 тыс. в 2023 г.

² Объем промышленного производства Чуйской области Кыргызстана достиг 355,8 млрд сомов [Электронный ресурс] // NEWS. – URL: <https://myseldon.com/ru/news/index/342616987?requestId=4b8e7be1-cc95-48b6-a3ab-448fdd2bfc8d> (дата обращения: 06.11.2026).

Динамика смертности населения по причинам в Кыргызской Республике

Класс болезни	Кыргызская Республика (годы)											
	2018		2019		2020		2021		2022		2023	
	абс. число	<i>P</i>	абс. число	<i>P</i>	абс. число	<i>P</i>	абс. число	<i>P</i>	абс. число	<i>P</i>	абс. число	<i>P</i>
ВСЕГО умерших от всех причин	32989	521,7	33295	515,7	39977	607,5	38875	580,9	31401	450,2	31500	443,7
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-1,1	-	+17,8	-	-4,3	-	-22,5	-	-1,4
Некоторые инфекционные и паразитарные болезни	738	11,7	644	10,0	594	9,0	526	7,9	723	10,4	527	7,4
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-14,5	-	-10,0	-	-12,2	-	+31,6	-	-28,8
Новообразования	4147	65,6	4138	64,1	4196	63,8	3985	59,5	3818	54,7	4066	57,3
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-2,2	-	-0,4	-	-6,7	-	-8,0	-	+4,7
Болезни крови, кроветворных органов и отдельных нарушений, вовлекающих иммунный механизм	33	0,5	39	0,6	31	0,5	38	0,6	38	0,5	61	0,9
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	+20,0	-	-16,6	-	+20,0	-	-16,6	-	+80,0
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	485	7,7	478	7,4	677	10,3	500	7,5	460	6,6	496	7,0
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-3,8	-	+39,1	-	-27,1	-	-12,0	-	+6,0
Болезни нервной системы	463	7,3	456	7,1	421	6,4	401	6,0	400	5,7	551	7,8
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-2,7	-	-9,8	-	-6,2	-	-5,0	-	+36,8
Болезни органов кровообращения	16803	265,7	17188	266,2	20909	317,8	19879	297,0	16359	234,5	16519	232,7
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	+0,1	-	+19,3	-	-6,5	-	-21,0	-	-0,7
Болезни органов дыхания	1 764	27,9	1861	28,8	2718	41,3	1704	25,5	1718	24,6	1971	27,8
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	+3,2	-	+43,4	-	-38,5	-	-3,5	-	+13,0
Болезни органов пищеварения	2095	3,1	2062	31,9	2075	31,5	2060	30,8	1702	2,4	1624	22,9
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-3,6	-	-1,2	-	-2,2	-	-20,7	-	-6,1
Болезни мочеполовой системы	409	6,5	350	5,4	374	5,7	378	5,6	292	4,2	308	4,3
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-16,9	-	+5,5	-	-1,7	-	-25,0	-	+2,3
Отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде	1745	27,6	1806	28,0	1618	24,6	1558	23,3	1485	21,3	1501	21,1
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	+1,4	-	-12,1	-	-5,2	-	-8,5	-	-0,9
Врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения	514	8,1	488	7,5	458	7,0	519	7,7	388	5,6	346	4,9
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-7,4	-	-6,6	-	+10,0	-	-27,2	-	-12,5
Травмы и отравления	2575	40,7	2535	39,3	2252	34,2	2843	42,5	2515	36,1	2331	32,8
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-3,4	-	-12,9	-	+24,2	-	-15,0	-	-9,1
COVID-19					2448	37,2	2960	44,2	506	7,3	20	0,3
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-	-	0	-	+18,8	-	-83,4	-	-95,8
Прочие болезни	1218	19,2	1250	19,3	1206	18,3	1524	22,8	997	14,3	1179	16,6
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	+0,5	-	-5,1	-	+24,5	-	-37,2	-	+16,0

Примечание: абс. число – абсолютное число случаев, *P* – частота смертности, сл./100 тыс. человек.

Болезни мочеполовой системы имели положительную динамику увеличения в 2020 и 2023 гг., снижение смертности отмечалось в 2021 и 2022 гг. В целом в 2018 г. показатель смертности составлял 6,5 сл./100 тыс., в 2023 г. – 4,3 сл./100 тыс. населения.

Отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде, только в 2019 г. незначительно увеличились, в остальные исследуемые годы наблюдалась динамика снижения. С 2020 по 2023 г. наблюдалась тенденция некоторого снижения смертности на -12,1; -5,2; -8,5; -0,9 соответственно по темпу убыли. Показатель на конец исследуемого периода составил 21,1 сл./100 тыс.

Врожденные аномалии по причинам смертных случаев в 2018 г. составили 8,1 сл./100 тыс., в 2019 г. резко снизились на -7,4 %, в 2020 г. – на -6,6 %. В период 2022–2023 гг. смертность от аномалий развития значительно снизилась, достигнув к концу 2023 г. 4,9 сл./100 тыс. человек.

Смертность по причинам травм и отравлений характеризовалась снижением показателя в 2019, 2020, 2022, 2023 гг. на -3,4; -12,9; -15,0 и -9,1 соответственно.

От COVID-19 в 2020 г. было зафиксировано 2448 тыс. смертей, что составило порядка 37,2 сл./100 тыс. человек. В 2021 г. смертность возросла на +18,8 % (до 44,2 сл./100 тыс.). Однако в 2022 г. этот показатель значительно снизился – на -83,4 % (до

7,3 сл./100 тыс.). В 2023 г. также отмечалось значительное снижение – на -95,8 % (до 0,3 сл./100 тыс.).

Прочие болезни имели динамику увеличения в 2019, 2021 и 2023 гг. на +0,5, +24,5 и 16,0 % при показателе 19,3; 22,8 и 16,6 сл./100 тыс. человек соответственно.

Таким образом, в Кыргызской Республике только в 2020 г. наблюдалось значительное увеличение показателя смертности. Некоторые инфекционные и паразитарные болезни имели динамику увеличения в 2022 г., новообразования – в 2023 г., болезни крови и кроветворных органов – в 2019, 2021 и 2023 гг., болезни эндокринной системы – в 2020 и 2023 гг., болезни нервной системы – только в 2023 г., болезни органов кровообращения имели тенденцию увеличения в 2019 г. и существенное увеличение в 2020 г. Болезни органов дыхания по причинам смертности в 2019 г. незначительно увеличились, в 2020 и 2023 гг. наблюдалась динамика значительного увеличения.

Болезни органов пищеварения имели отрицательную динамику по причинам во все исследуемые годы. Болезни мочеполовой системы стали причиной смертности с незначительным темпом прироста в 2020 и 2023 гг. Отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде, незначительно увеличились только в 2019 г., а также врожденные аномалии, травмы и отравления, COVID-19 – в 2021 г., прочие болезни имели значительный прирост в 2021 и 2023 гг.

Рассмотрена в динамике и смертность по причинам населения Чуйской области в период с 2018 по 2023 г. (табл. 2).

В целом по причинам смертности наблюдалась динамика увеличения в 2020 г. на +14,5 % по темпу прироста (761,6 сл./100 тыс.), незначительное увеличение также отмечалось в 2021 и 2023 гг. – на +0,9 и +2,5 %. В 2025 г. уровень смертности фиксировали на отметке 557,7 сл./100 тыс. человек, что несколько выше, чем в целом по Республике Кыргызстан.

Некоторые инфекционные и паразитарные болезни имели определенное увеличение в 2020 г. – на +9,7 % (14,7 сл./100 тыс. чел.) и значительное увеличение в 2022 г. – +108,2 % (до 22,7 сл./100 тыс.). На конец 2023 г. смертность по данной причине отмечали на уровне, минимальном за все изученные годы (10,6 сл./100 тыс.).

Болезни крови, кроветворных органов и отдельных нарушений, вовлекающих иммунный механизм, в 2018 г. явились причинами порядка 0,6 сл./100 тыс. населения. В 2019 г. уровень смертности от данных заболеваний возрос на +16,6 %, тогда как в 2020 г. отмечалось уменьшение на -57,1 % в сравнении с предыдущим годом. Значительный рост причин смертности наблюдался в 2021 г. В 2022 и 2023 гг. показатель в динамике увеличился на +33,3 и +37,5 % (до 0,8 и 1,1 сл./100 тыс. соответственно).

Смертность от болезней эндокринной системы, расстройств питания и нарушений обмена веществ

имела волнообразный характер – отмечалось как увеличение, так и снижение показателя. Увеличение отмечалось в 2020 г. на +50,0 % (до 9,9 сл./100 тыс.) и 2023 г. на +12,5 % (до 5,4 сл./100 тыс.).

Смертность населения Чуйской области от болезней нервной системы имела резкий подъем в 2023 г. – на +102,7 % (до 7,3 сл./1000 при показателе 6,2 в 2018 г.). С 2018 по 2019 гг. выявлен нулевой прирост показателя, а снижение наблюдалось в 2021 г. на -25,7 % и 2022 г. на -26,5 % (до 3,6 сл./100 тыс. человек).

Болезни органов кровообращения явились причиной смертности с высоким уровнем показателя распространенности. При рассмотрении причин смертности в динамике увеличение было не столь значимым: в 2020 и 2023 гг. – на +12,4 и +4,6 % соответственно (до уровней 405,5 и 305,4 сл./100 тыс. соответственно).

Смертность по причинам болезней органов пищеварения составила в 2019 г. 45,7 сл./1000, что практически соответствовало уровню предыдущего 2018 г. Однако постепенно показатель снижался и достиг в 2023 г. уровня 27,9 сл./100 тыс. населения, что более чем на 30 % ниже, чем в стартовый год наблюдения.

Смертность от COVID-19 составила в 2020 г. 29,8 сл./100 тыс. В 2021 г. наблюдался резкий подъем смертности населения на +166,1 % (до 79,3 сл./100 тыс.), а в последующие годы наблюдалось существенное снижение на -81,4 % в 2022 и 2023 гг. на -95,9 % (0,6 сл./100 тыс.). Динамика смертности по данной причине полностью соответствовала общереспубликанскому тренду.

Таким образом, причины смертности по классам болезней населения Чуйской области с 2018 по 2023 гг. имели волнообразную динамику как увеличения, так и снижения. Некоторые инфекционные и паразитарные болезни незначительно увеличились в 2020, 2021, 2023 гг. Новообразования 2021 и 2023 гг., болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения явились причиной смертности с резким увеличением в 2021, 2022 и 2023 гг., болезни эндокринной системы в динамике увеличились в 2020 и 2023 гг. Причины смертности от болезней нервной системы имели резкий рост в 2023 г., болезни органов кровообращения – в 2020 и 2023 гг. при незначительной динамике, от болезней органов дыхания в основном умирали в 2020 и 2023 гг., от болезней органов пищеварения выявлена незначительная динамика увеличения в 2019 и 2023 гг. Болезни мочеполовой системы как причина смертности отмечались в 2020, 2021 и 2023 гг.; отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде, в 2019 г. имели рост смертности; врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения только в 2021 г. явились причиной смертности, травмы и отравления – в 2021 и 2023 гг., и COVID-19 с резким подъемом смертности – в 2021 г., прочие болезни – в 2020, 2021 и 2023 гг.

Динамика смертности населения по причинам в Чуйской области в Кыргызской Республике

Класс болезни	Чуйская область (годы)											
	2018		2019		2020		2021		2022		2023	
	абс. число	<i>P</i>	абс. число	<i>P</i>	абс. число	<i>P</i>	абс. число	<i>P</i>	абс. число	<i>P</i>	абс. число	<i>P</i>
ВСЕГО умерших от всех причин	6497	697,6	6318	664,7	7368	761,6	7535	768,7	5774	543,9	6011	557,7
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-4,7	-	+14,5	-	+0,9	-	-29,2	-	+2,5
Некоторые инфекционные и паразитарные болезни	157	16,9	127	13,4	142	14,7	107	10,9	241	22,7	114	10,6
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-20,7	-	+9,7	-	-25,8	-	+108,2	-	-53,3
Новообразования	908	97,5	918	96,6	903	93,3	930	94,9	829	78,1	879	81,6
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-0,9	-	-3,4	-	+1,7	-	-17,7	-	+4,5
Болезни крови, кроветворных органов и отдельных нарушений, вовлекающих иммунный механизм	6	0,6	7	0,7	3	0,3	6	0,6	9	0,8	12	1,1
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	+16,6	-	-57,1	-	+100,0	-	+33,3	-	+37,5
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	71	7,6	63	6,6	96	9,9	59	6,0	51	4,8	58	5,4
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-13,1	-	+50,0	-	39,4	-	-20,0	-	+12,5
Болезни нервной системы	58	6,2	59	6,2	64	6,6	48	4,9	38	3,6	79	7,3
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	0	-	+6,4	-	-25,7	-	26,5	-	+102,7
Болезни органов системы кровообращения	3512	377,1	3429	360,8	3923	405,5	3834	391,1	3099	291,9	3291	305,4
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-4,3	-	+12,4	-	-3,5	-	-25,3	-	+4,6
Болезни органов дыхания	255	27,4	236	24,8	504	52,1	233	23,8	225	21,2	267	24,8
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-9,5	-	+110,0	-	-54,3	-	-10,9	-	+17,0
Болезни органов пищеварения	422	45,3	434	45,7	411	42,5	371	37,8	286	26,9	301	27,9
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	+0,9	-	-7,0	-	-11,0	-	-28,8	-	+3,7
Болезни мочеполовой системы	44	4,7	39	4,1	45	4,7	53	5,4	30	2,8	33	3,1
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-12,7	-	+14,6	-	+14,9	-	-48,1	-	+10,7
Отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде	139	14,9	192	20,2	149	15,4	152	15,5	175	16,5	104	9,6
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	+35,5	-	-23,7	-	+0,6	-	+6,4	-	-41,8
Врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения	68	7,3	54	5,7	46	4,8	54	5,5	55	5,2	32	3,0
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-21,9	-	-15,8	-	+14,6	-	-5,4	-	-42,3
Травмы и отравления	580	62,3	502	52,8	505	52,2	597	60,9	472	44,5	510	47,3
Темп прироста / убыли	-	-	-	-15,2	-	-1,1	-	+16,6	-	-27,0	-	+6,3
COVID-19	-	-	-	-	288	29,8	777	79,3	156	14,7	6	0,6
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-	-	0	-	+166,1	-	-81,4	-	-95,9
Прочие болезни	277	29,8	258	27,0	289	29,9	314	32,0	108	10,2	325	30,2
Темп прироста / убыли, %	-	-	-	-9,4	-	+40,4	-	+7,0	-	-68,1	-	+196,0

Примечание: абс. число – абсолютное число, *P* – частота случаев смертности.

Необходимо отметить, что в динамике смертности населения по причинам наиболее существенные показатели увеличения наблюдались в 2022 г., новообразования имели незначительное увеличение в 2022 и 2023 гг. Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм, явились причиной смертности при значительном увеличении в 2021 г., также резкое увеличение наблюдалось по болезням эндокринной системы, расстройствам питания и нарушения обмена веществ в 2020 г. Болезни нервной системы как причина смертности населения особенно проявилась в 2023 г. Болезни органов крово-

обращения имели незначительную динамику увеличения в 2020 и 2023 гг. Смертность от причин болезней органов дыхания особенно резко возросла в 2020 г.

Выводы. Проведенное исследование позволило выявить основные тенденции и закономерности смертности населения Кыргызской Республики в 2018–2023 гг. Анализ показал, что пандемия COVID-19 стала ключевым фактором кратковременного роста смертности в 2020 году, приведшего к увеличению показателей на 17,8 % и изменению структуры причин смерти. В последующие годы отмечается постепенная стабилизация и снижение

уровня смертности, однако сохраняются выраженные региональные различия и высокий удельный вес предотвратимой смертности, особенно среди сельского населения.

Наиболее значимый вклад в структуру смертности продолжают вносить болезни системы кровообращения, злокачественные новообразования, болезни органов дыхания и эндокринной системы.

Согласно многим данным, уровень смертности определяется не только медицинскими, но и социально-экономическими, экологическими и поведенческими детерминантами [22]. Полученные данные могут являться информационной основой для дальнейшего выявления взаимосвязей между динамикой показателей смертности и социально-экономическими параметрами жизни населения. Требуют параметризации связи между смертностью по причинам с возрастной структурой и условиями жизни, доступности медицинской помощи и качеством профилактических мероприятий. Математические модели, описывающие связи в системе «смертность – факторы, ее определяющие», важны также и для анализа региональных различий. Наличие таких моделей обеспечит не только статистический анализ смертности, но и позволит рассчитывать и про-

гнозировать риски смертности при изменении уровней воздействующих факторов.

При этом даже до получения количественных параметров вклада отдельных детерминант в уровень смертности населения уже накопленные отечественные и мировые исследования свидетельствуют о необходимости развития первичного звена здравоохранения и внедрения программ, направленных на профилактику хронических неинфекционных заболеваний [24, 25]. Важно обеспечить равномерную доступность медицинской помощи, повышение информированности населения и формирование здорового образа жизни [26].

В целом полученные результаты подтверждают необходимость совершенствования системы мониторинга и статистического учета причин смерти. Комплексный подход к анализу и управлению показателями смертности должен стать основой для разработки эффективных государственных стратегий в области общественного здоровья и снижения предотвратимой смертности в Кыргызской Республике.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Кучмаева О.В., Калмыкова Н.М., Колотуша А.В. Факторы региональной дифференциации смертности в России 2019–2020 гг.: эпидемия COVID-19 и не только // Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал. – 2021. – Т. 13, № 4. – С. 34–64. DOI: 10.38050/2078-3809-2021-13-4-34-64
2. Дружинин П.В., Молчанова Е.В. Смертность населения российских регионов в условиях пандемии COVID-19 // Регионология. – 2021. – Т. 29, № 3. – С. 666–685. DOI: 10.15507/2413-1407.116.029.202103.666-685
3. Былина С.Г. Смертность городского и сельского населения РФ по причинам смерти: сравнительный анализ // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 10 (100), Ч. 2. – С. 95–103. DOI: 10.23670/IRJ.2020.100.10.054
4. Коржавая А.Н., Мерзликина А.С. Статистический анализ смертности населения в Российской Федерации // Молодой ученый. – 2024. – № 18 (517). – С. 476–478.
5. Burden and trends of infectious disease mortality attributed to air pollution, unsafe water, sanitation, and hygiene, and non-optimal temperature globally and in different socio-demographic index regions / Q. Liu, J. Deng, W. Yan, C. Qin, M. Du, Y. Wang, S. Zhang, M. Liu, J. Liu // *Glob. Health Res. Policy*. – 2024. – Vol. 9, № 1. – P. 23. DOI: 10.1186/s41256-024-00366-x
6. Калининская А.А., Баянова Н.А., Муфтахова А.В., Сулькина Ф.А., Рассоха Д.В. Медико-демографические проблемы сельского населения России // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2020. – Т. 28, № 6. – С. 1247–1251. DOI: 10.32687/0869-866X-2020-28-6-1247-1251
7. Li T., Zhang S., Li H. Research on social and economic factors influencing regional mortality patterns in China // *Sci. Rep.* – 2024. – Vol. 14, № 1. – P. 10614. DOI: 10.1038/s41598-024-61262-5
8. The COVID-19 pandemic and human fertility / A. Aassve, N. Cavalli, L. Mencarini, S. Plach, M.L. Bacci // *Science*. – 2020. – Vol. 369, № 6502. – P. 370–371. DOI: 10.1126/science.abc9520
9. Канатбекова Г.К., Бекешова Э.Н. Динамика демографических процессов в Кыргызской Республике // Научное обозрение. Медицинские науки. – 2023. – № 3. – С. 17–23. DOI: 10.17513/srms.1336
10. 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
11. The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): a review / M. Nicola, Z. Alsafi, C. Sohrabi, A. Kerwan, A. Al-Jabir, C. Iosifidis, M. Agha, R. Agha // *Int. J. Surg.* – 2020. – Vol. 78. – P. 185–193. DOI: 10.1016/j.ijssu.2020.04.018
12. Excess deaths in people with cardiovascular diseases during the COVID-19 pandemic / A. Banerjee, S. Chen, L. Pasea, A.G. Lai, M. Katsoulis, S. Denaxas, V. Nafilyan, B. Williams [et al.] // *Eur. J. Prev. Cardiol.* – 2021. – Vol. 28, № 14. – P. 1599–1609. DOI: 10.1093/eurjpc/zwaa155
13. Distinguishing between direct and indirect consequences of Covid-19 / J.D. Figueroa, P.M. Brennan, E. Theodoratou, M.T.C. Poon, K. Purshouse, F.V.N. Din, K. Jin, I. Mesa-Eguigaray [et al.] // *BMJ*. – 2020. – Vol. 369. – P. m2377. DOI: 10.1136/bmj.m2377

14. Научное обоснование предложений по совершенствованию медицинской помощи жителям / А.А. Калининская, Э.А. Бакирова, М.В. Кизеев, А.В. Лазарев, С.И. Шляфер, Л.А. Бальзамова // Менеджер здравоохранения. – 2023. – № 3. – С. 13–24. DOI: 10.21045/1811-0185-2023-3-13-24
15. Excess deaths from COVID-19 and other causes, March–April 2020 / S.H. Woolf, D.A. Chapman, R.T. Sabo, D.M. Weinberger, L. Hill // JAMA. – 2020. – Vol. 324, № 5. – P. 510–513. DOI: 10.1001/jama.2020.11787
16. Estimation of excess deaths associated with the COVID-19 pandemic in the United States / D.M. Weinberger, J. Chen, T. Cohen, F.W. Crawford, F. Mostashari, D. Olson, V.E. Pitzer, N.G. Reich [et al.] // JAMA Intern. Med. – 2020. – Vol. 180, № 10. – P. 1336–1344. DOI: 10.1001/jamainternmed.2020.3391
17. Clinical characteristics of patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19) receiving emergency medical services in King County, Washington / B.Y. Yang, L.M. Barnard, J.M. Emert, C. Drucker, L. Schwarcz, C.R. Counts, D.L. Murphy, S. Guan [et al.] // JAMA Netw. Open. – 2020. – Vol. 3, № 7. – P. e2014549. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2020.14549
18. Global excess deaths associated with COVID-19, January 2020 – December 2021 [Электронный ресурс] // World Health Organization. – 2022. – URL: <https://www.who.int/data/stories/global-excess-deaths-associated-with-covid-19-january-2020-december-2021> (дата обращения: 12.11.2025).
19. Баянова Т.А., Зайкова З.А., Кравченко Н.А. Влияние пандемии COVID-19 на структуру и уровень смертности // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2022. – Т. 30, № 12. – С. 17–23. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-12-17-23
20. Ибраимова Д.Д. Роль демографических факторов в заболеваемости и смертности при злокачественных новообразованиях в Кыргызской Республике // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2023. – № 8. – С. 82–86. DOI: 10.26104/NNTIK.2023.78.74.015
21. Блинова Т.В. Демографические угрозы и ограничения развития сельских территорий России // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. – 2018. – № 2 (71). – С. 14–18.
22. Предотвратимая смертность: подходы к оценке / О.С. Кобякова, И.А. Деев, И.П. Шибалков, В.И. Стародубов, Г.А. Марычев, М.М. Логненко // Анализ риска здоровью. – 2025. – № 3. – С. 158–168. DOI: 10.21668/health.risk/2025.3.16
23. Митрофанов Н.М., Митрофанова Т.Ю. Экономико-географическая ситуация в северном Кыргызстане: современность и перспективы // Актуальные вопросы современной экономики. – 2024. – № 7. – С. 311–324.
24. Коссова Т.В. Экономические детерминанты смертности от сердечно-сосудистых заболеваний в регионах России // Вопросы статистики. – 2023. – Т. 30, № 1. – С. 42–51. DOI: 10.34023/2313-6383-2023-30-1-42-51
25. Effect of Economic Recession and Impact of Health and Social Protection Expenditures on Adult Mortality: A Longitudinal Analysis of 5565 Brazilian Municipalities / T. Hone, A.J. Mirelman, D. Rasella, R. Paes-Sousa, M.L. Barreto, R. Rocha, C. Millett // Lancet Glob. Health. – 2019. – Vol. 7, № 11. – P. e1575–e1583. DOI: 10.1016/S2214-109X (19) 30409-7
26. Cherepanova M.I., Maximova S.G., Sirotnina T.V. Social well-being as an integral characteristic of the secure functioning and sustainable development in regions // In book: Advances in Natural, Human-Made, and Coupled Human-Natural Systems Research, Lecture Notes in Networks and Systems / ed. by S.G. Maximova, R.I. Raikin, A.A. Chibilev, M.M. Silantjeva. – Cham: Springer, 2023. – Vol. 234. – P. 417–424. DOI: 10.1007/978-3-030-75483-9_39

Смертность населения Кыргызской Республики: структура, тенденции, детерминанты предотвратимости / А.Б. Джаналиев, Н.К. Касиев, О.А. Болбачан, Д.Д. Ибраимова, М.А. Мамбетов // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 157–166. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.15

UDC 614.2:614.1

DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.15.eng



Research article

POPULATION MORTALITY IN THE KYRGYZ REPUBLIC: STRUCTURE, TRENDS AND PREVENTABILITY DETERMINANTS

A.B. Dzhanaliev, N.K. Kasiev, O.A. Bolbachan, D.D. Ibraimova, M.A. Mambetov

Kyrgyz-Russian Slavic University named after B.N. Yeltsin, 44 Kievskaya Str., Bishkek, 720000, Kyrgyz Republic

The article presents a comprehensive analysis of trends and dynamics in the structure of mortality in the Kyrgyz Republic from 2018 to 2023, considering the impact of the COVID-19 pandemic and socio-demographic factors. The aim of the study was to identify patterns in changes in mortality indicators by major classes of diseases and to determine medical and social determinants influencing the level of preventable mortality. The study results may provide a basis for further risks of medical and demographic losses in the country.

Official data from the Center for Electronic Health of the Ministry of Health of the Kyrgyz Republic were used as the primary source. The analysis was carried out per main classes of diseases according to ICD-10, with the calculation of time-series indicators and comparative assessment of data by regions, including the Chuy Region.

The study results showed that the COVID-19 pandemic caused a sharp increase in mortality in 2020, followed by a gradual decline and stabilization of mortality rates. The main contribution to the overall mortality structure was made by diseases of the circulatory system, respiratory diseases, neoplasms, and endocrine disorders. In 2020–2021, there was a significant increase in mortality from cardiovascular and respiratory diseases, which was consistent with global trends in excess mortality during the pandemic. At the same time, pronounced regional disparities were identified, along with a persistently high level of preventable mortality among the rural population largely due to limited access to healthcare and low awareness of risk factors.

The analysis confirms that mortality dynamics is determined not only by medical but also by socio-economic and environmental factors. The findings highlight the need to improve the system for monitoring causes of death, enhance the quality of preventive and diagnostic measures, and strengthen primary healthcare. The presented data are of practical importance for specialists in public health, demography, and social policy since they help to develop effective measures for managing demographic processes.

A comprehensive approach to managing medical and demographic indicators should form the basis for developing national strategies aimed at reducing preventable mortality and increasing life expectancy in the Kyrgyz Republic.

Keywords: mortality, diseases of the circulatory system, respiratory diseases, neoplasms, injuries and poisonings, healthcare system, demography, diseases, preventable mortality, COVID-19.

References

1. Kuchmaeva O.V., Kalmykova N.M., Kolotusha A.V. Mortality Rate Differentiation in Russia in 2019–2020: COVID-19 Pandemic and Other Factors. *Nauchnye issledovaniya ekonomicheskogo fakul'teta. Elektronnyi zhurnal*, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 34–64. DOI: 10.38050/2078-3809-2021-13-4-34-64 (in Russian).
2. Druzhinin P.V., Molchanova E.V. Mortality Rates in Russian Regions in the Context of the COVID-19 Pandemic. *Regionologiya*, 2021, vol. 29, no. 3, pp. 666–685. DOI: 10.15507/2413-1407.116.029.202103.666-685 (in Russian).
3. Bylina S.G. Mortality of urban and rural population of the Russian Federation by causes of death: comparative analysis. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2020, no. 10 (100), pt 2, pp. 95–103. DOI: 10.23670/IRJ.2020.100.10.054 (in Russian).
4. Korzhavaya A.N., Merzlikina A.S. Statisticheskii analiz smernosti naseleniya v Rossiiskoi Federatsii [Statistical analysis of mortality in the Russian Federation]. *Molodoi uchenyi*, 2024, no. 18 (517), pp. 476–478 (in Russian).
5. Liu Q., Deng J., Yan W., Qin C., Du M., Wang Y., Zhang S., Liu M., Liu J. Burden and trends of infectious disease mortality attributed to air pollution, unsafe water, sanitation, and hygiene, and non-optimal temperature globally and in different socio-demographic index regions. *Glob. Health Res. Policy*, 2024, vol. 9, no. 1, pp. 23. DOI: 10.1186/s41256-024-00366-x
6. Kalininskaya A.A., Bayanova N.A., Muftahova A.V., Sulkina F.A., Rassoha D.V. The medical demographic problems of rural population. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny*, 2020, vol. 28, no. 6, pp. 1247–1251. DOI: 10.32687/0869-866X-2020-28-6-1247-1251 (in Russian).
7. Li T., Zhang S., Li H. Research on social and economic factors influencing regional mortality patterns in China. *Sci. Rep.*, 2024, vol. 14, no. 1, pp. 10614. DOI: 10.1038/s41598-024-61262-5
8. Aassve A., Cavalli N., Mencarini L., Plach S., Bacci M.L. The COVID-19 pandemic and human fertility. *Science*, 2020, vol. 369, no. 6502, pp. 370–371. DOI: 10.1126/science.abc9520
9. Kanatbekova G.K., Bekeshova E.N. Dynamics of demographic processes in the Kyrgyz Republic. *Nauchnoe obozrenie. Meditsinskie nauki*, 2023, no. 3, pp. 17–23. DOI: 10.17513/srms.1336 (in Russian).
10. Kobayakova 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
11. Nicola M., Alsafi Z., Sohrabi C., Kerwan A., Al-Jabir A., Iosifidis C., Agha M., Agha R. The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): a review. *Int. J. Surg.*, 2020, vol. 78, pp. 185–193. DOI: 10.1016/j.ijssu.2020.04.018
12. Banerjee A., Chen S., Pasa L., Lai A.G., Katsoulis M., Denaxas S., Lai A.G., Katsoulis M., Denaxas S., Nafilyan V., Williams B. [et al.]. Excess deaths in people with cardiovascular diseases during the COVID-19 pandemic. *Eur. J. Prev. Cardiol.*, 2021, vol. 28, no. 14, pp. 1599–1609. DOI: 10.1093/eurjpc/zwaa155

© Dzhanaliev A.B., Kasiev N.K., Bolbachan O.A., Ibraimova D.D., Mambetov M.A., 2026

Azamat B. Dzhanaliev – lecturer at the Department of Public Health and Health Care, post-graduate student (e-mail: djanalieff@mail.ru; tel.: +996 501 70-01-66; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4498-7984>).

Naken K. Kasiev – Honorary Academician of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Head of the Department of Public Health and Health Care (e-mail: ozizk@mail.ru; tel.: +996 554 52-04-20; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0718-6878>).

Olga A. Bolbachan – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Public Health and Health Care (e-mail: ozizk@mail.ru; tel.: +996 556 71-17-41; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3813-3269>).

Dzhyldyz D. Ibraimova – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Public Health and Health Care (e-mail: ibraimova_70@mail.ru; tel.: +996 559 92-10-14; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7220-1168>).

Marat A. Mambetov – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Public Health and Health Care (e-mail: m.mambetov2012@gmail.com; tel.: +996 777 95-50-55; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1513-037X>).

13. Figueroa J.D., Brennan P.M., Theodoratou E., Poon M.T.C., Purshouse K., Din F.V.N., Jin K., Mesa-Eguiagaray I. [et al.]. Distinguishing between direct and indirect consequences of Covid-19. *BMJ*, 2020, vol. 369, pp. m2377. DOI: 10.1136/bmj.m2377
14. Kalininskaya A.A., Bakirova E.A., Kizeev M.V., Lazarev A.V., Shlyafar S.I., Balzamova L.A. Scientific substantiation of proposals for improving medical care for villagers. *Menedzher zdravookhraneniya*, 2023, no. 3, pp. 13–24. DOI: 10.21045/1811-0185-2023-3-13-24 (in Russian).
15. Woolf S.H., Chapman D.A., Sabo R.T., Weinberger D.M., Hill L. Excess deaths from COVID-19 and other causes. *JAMA*, 2020, vol. 324, no. 5, pp. 510–513. DOI: 10.1001/jama.2020.11787
16. Weinberger D.M., Chen J., Cohen T., Crawford F.W., Mostashari F., Olson D., Pitzer V.E., Reich N.G. [et al.]. Estimation of excess deaths associated with the COVID-19 pandemic in the United States. *JAMA Intern. Med.*, 2020, vol. 180, no. 10, pp. 1336–1344. DOI: 10.1001/jamainternmed.2020.3391
17. Yang B.Y., Barnard L.M., Emert J.M., Drucker C., Schwarcz L., Counts C.R., Murphy D.L., Guan S. [et al.]. Clinical characteristics of patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19) receiving emergency medical services in King County, Washington. *JAMA Netw. Open*, 2020, vol. 3, no. 7, pp. e2014549. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2020.14549
18. Global excess deaths associated with COVID-19, January 2020 – December 2021. *WHO*, 2022. Available at: <https://www.who.int/data/stories/global-excess-deaths-associated-with-covid-19-january-2020-december-2021> (November 12, 2025).
19. Bayanova T.A., Zaikova Z.A., Kravchenko N.A. Impact of the COVID-19 Pandemic on Mortality Rates and Patterns. *ZNISO*, 2022, vol. 30, no. 12, pp. 17–23. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-12-17-23 (in Russian).
20. Ibraimova D. Role of demographic factors in morbidity and mortality in malignancies in the Kyrgyz Republic. *Nauka, novye tekhnologii i innovatsii Kyrgyzstana*, 2023, no. 8, pp. 82–86. DOI: 10.26104/NNTIK.2023.78.74.015 (in Russian).
21. Blinova T.V. Demographic threats and limitations of the development of rural territories in Russia. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta*, 2018, no. 2 (71), pp. 14–18 (in Russian).
22. Kobyakova O.S., Deev I.A., Shibalkov I.P., Starodubov V.I., Marychev G.A., Lognenko M.M. Avoidable mortality: approaches to estimation. *Health Risk Analysis*, 2025, no. 3, pp. 158–168. DOI: 10.21668/health.risk/2025.3.16.eng
23. Mitrofanov N.M., Mitrofanova T.Yu. Economic and geographical situation in Northern Kyrgyzstan: modernity and prospects. *Aktual'nye voprosy sovremennoi ekonomiki*, 2024, no. 7, pp. 311–324 (in Russian).
24. Kossova T.V. Economic determinants of mortality from cardiovascular diseases in Russian regions. *Voprosy statistiki*, 2023, vol. 30, no. 1, pp. 42–51. DOI: 10.34023/2313-6383-2023-30-1-42-51 (in Russian).
25. Hone T., Mirelman A.J., Rasella D., Paes-Sousa R., Barreto M.L., Rocha R., Millett C. Effect of Economic Recession and Impact of Health and Social Protection Expenditures on Adult Mortality: A Longitudinal Analysis of 5565 Brazilian Municipalities. *Lancet Glob. Health*, 2019, vol. 7, no. 11, pp. e1575–e1583. DOI: 10.1016/S2214-109X(19)30409-7
26. Cherepanova M.I., Maximova S.G., Sirotnina T.V. Social well-being as an integral characteristic of the secure functioning and sustainable development in regions. In book: *Advances in Natural, Human-Made, and Coupled Human-Natural Systems Research, Lecture Notes in Networks and Systems*; S.G. Maximova, R.I. Raikin, A.A. Chibilev, M.M. Silantyeva eds. Cham, Springer Publ., 2023, vol. 234, pp. 417–424. DOI: 10.1007/978-3-030-75483-9_39

Dzhanaliev A.B., Kasiev N.K., Bolbachan O.A., Ibraimova D.D., Mambetov M.A. Population mortality in the Kyrgyz Republic: structure, trends and preventability determinants. Health Risk Analysis, 2026, no. 1, pp. 157–166. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.15.eng

Получена: 18.11.2025

Одобрена: 12.03.2026

Принята к публикации: 26.03.2026



Научная статья

ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ ПРИ ГЛАУКОМЕ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РИСКА РАЗВИТИЯ ЗАБОЛЕВАНИЯ

О.А. Болбачан¹, Г.К. Оморова², Н.М. Асанова², М.А. Мамбетов¹¹Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина, Кыргызская Республика, 720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44²Кыргызская государственная медицинская академия имени И.К. Ахунбаева, Кыргызская Республика, 720020, г. Бишкек, ул. Ахунбаева, 92

Ведущей причиной офтальмологической инвалидности является глаукома, которая определяет динамику распространенности заболеваемости органов зрения во всех странах мира, включая Кыргызскую Республику. Такие факторы риска, как повышенное артериальное давление, возраст пациента, наследственность и сахарный диабет, в значительной степени являются причиной потери зрения. Совершенствование организации оказания медицинской помощи больным с глаукомой представляется крайне актуальным на различных уровнях, так как до настоящего времени остается открытым вопрос диагностики заболевания. Необходимо проведение скрининга глаукомы врачами первичной медико-санитарной помощи.

Анализ состояния здоровья пациентов с глаукомой в Республике Кыргызстан показал, что увеличение артериального давления характерно для 97,0 %. Факторами риска болезни являются: возраст пациентов старше 40 лет (93,0 %), наследственная отягощенность (91,3 %) и заболеваемость сахарным диабетом (79,0 %).

Предложен системный подход к совершенствованию офтальмологической помощи пациентам с глаукомой, который основывается на оптимизации развития сети глаукомных кабинетов и центров, с внедрением эффективной маршрутизации пациентов на всех уровнях системы здравоохранения. Показано, что проведение регулярного скрининга лиц старше 40 лет и пациентов с сопутствующими заболеваниями позволит выявить глаукому на ранних стадиях, снижая риск инвалидизации и потери зрения.

Для совершенствования оказания качественной медицинской помощи больным с глаукомой необходимы: кабинет доврачебного приема в Центре семейной медицины; офтальмологический кабинет в Центре семейной медицины; офтальмологический кабинет в консультативных поликлиниках Национального госпиталя и областных больниц, в республиканском диагностическом центре, медицинском центре Кыргызской государственной медицинской академии им. И.К. Ахунбаева; офтальмологические отделения в Национальном госпитале, областных, городских или территориальных больницах Кыргызской Республики.

Показано, что в рамках первичной медико-санитарной помощи пациентам в возрасте старше 40 лет и имеющим сопутствующие заболевания (сахарный диабет, ишемическая болезнь сердца) в обязательном порядке показано прохождение тонометрии. При выявлении подозрения на глаукому больной направляется в глаукомный кабинет, в котором проводится диспансерное наблюдение, консультации и углубленное обследование. Следующим этапом оказания качественной медицинской помощи является глаукомный центр, являющийся координирующим звеном в оказании офтальмологической помощи больным глаукомой.

Ключевые слова: глаукома, фактор риска, распространенность, скрининг, первичная медико-санитарная помощь, глаукомный кабинет, глаукомный центр, диспансеризация.

Глаукома является одной из ведущих причин офтальмологической инвалидности с тенденцией роста заболеваемости во всем мире [1]. Глаукома является социально значимым заболеванием, приводящим в том числе к необратимой слепоте [2].

В ряде статей приводятся данные по частоте распространенности глаукомы [3] и факторов риска, влияющих на заболеваемость. В сопряженных исследованиях авторы отмечали высокий риск развития глаукомы и у мужчин, и у женщин с наследственной

© Болбачан О.А., Оморова Г.К., Асанова Н.М., Мамбетов М.А., 2026

Болбачан Ольга Александровна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общественного здоровья и здравоохранения (e-mail: ozizk@mail.ru; тел.: +996 556 71-17-41; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3813-3269>).**Оморова Гулзат Кулчоровна** – преподаватель кафедры офтальмологии (e-mail: gomorova@gmail.com; тел.: +996 555-06-03-80; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4607-6129>).**Асанова Нагима Мидиновна** – ассистент кафедры офтальмологии (e-mail: unknowngirl99@bk.ru; тел.: +996 755-17-03-99; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3507-6842>).**Мамбетов Марат Авалович** – доктор медицинских наук, профессор кафедры общественного здоровья и здравоохранения (e-mail: m.mambetov2012@gmail.com; тел.: +996 773-06-65-81; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1513-037X>).

предрасположенностью, повышенным артериальным давлением и сахарным диабетом [4]. Ряд исследователей доказывают, что врачи в практической деятельности должны проводить скрининг глаукомы. Необходимо отметить, что ни один из методов диагностики в настоящее время не может работать самостоятельно, поэтому в стандарт диагностики входит несколько методов, но вопрос оптимизации до настоящего времени остается открытым [5]. Представляется целесообразным расширение практики использования компьютерной диагностики заболевания, основанной на более точном исследовании глазного дна. Последнее крайне важно для корректной диагностики и лечения [6, 7].

В последние годы многие авторы подтверждают мультифакторность глаукомы. Поэтому важным элементом является персонализированный подход с созданием анкеты-опросника для пациентов с глаукомой, в том числе имеющих сопутствующие заболевания [8].

Актуальной проблемой остается дефицит кадров на уровне первичной медико-санитарной помощи, который имеет следствием несоблюдение сроков обследования и лечения больных глаукомой [9]. В целом высокая распространенность открытоугольной глаукомы, высокая медико-социальная значимость заболевания, недостаточная профилактическая направленность медицинской помощи требуют разработки путей совершенствования принципов диспансерного наблюдения больных, а также организации проведения мониторинга предупреждения заболевания и оказания своевременной офтальмологической помощи больным.

Для раннего выявления глаукомы, регулярного наблюдения и своевременного лечения особое значение имеет организация профилактических осмотров. Несмотря на Приказ Министерства здравоохранения Кыргызской Республики от 12 марта 2009 г. № 102 «Об усилении мероприятий по раннему выявлению и активному наблюдению больных глаукомой», анализ практической деятельности показывает необходимость усиления работы¹.

Важно более тщательный анализ распространенности глаукомы с изучением половозрастного состава населения, проживающего в условиях крупного города [10].

На первом этапе скрининга по раннему выявлению пациентов с глаукомой необходимо проведение анкетирования пациентов и тонометрии, с обязательным изучением факторов риска, что определяют прогноз заболевания [11, 12].

Большое значение имеет оценка «качества жизни» пациента с глаукомой, которая зависит от

эффективной диагностики и лечения пациента. Для совершенствования метода оценки качества жизни некоторые авторы определяют такие направления, как математическое моделирование и анализ разработанной анкеты-опросника, адаптированной к пациенту [13].

В странах мира, в том числе в Российской Федерации, организованы регистры пациентов с глаукомой, которые вместе с тем не лишены недостатков и далеко не всегда обеспечивают мониторинг и прогнозирование заболевания [14].

Ряд авторов указывают на необходимость ранней диагностики и своевременного лечения, что может предотвратить потерю зрения. Акцент ставится на работе специалистов первичной медико-санитарной помощи, своевременной регистрации каждого случая глаукомы в семье у пациента [15]. Для ранней диагностики глаукомы рекомендуется определить возрастные нормы внутриглазного давления с помощью тонометрии по Маклакову [16]. Поскольку глаукома является мультифакторным заболеванием, имеет значение определение прогностических рисков, особенно у пациентов с анатомической предрасположенностью к развитию такого заболевания, как глаукома [17].

Имеет значение наследственная предрасположенность как фактор риска возникновения глаукомы, особенно у пациентов от 60 лет и старше, а также страдающих диабетом, гипертонией, миопией. Необходимо не только изучение клинического проявления глаукомы, но также определение социально-экономического бремени заболевания (лечение, профилактика, прогноз) [18].

Некоторые авторы в своих трудах обобщают данные о новых разработках по диагностике глаукомы (измерение внутриглазного давления в домашних условиях, поля зрения и т.п.), в том числе с использованием искусственного интеллекта, которые дополняют традиционные методы [19].

Учитывая распространение глаукомы у населения [20–22], Всемирная ассамблея здравоохранения Глобального плана действий провозгласила целью сокращение в мире предотвратимых нарушений зрения в целом на 25 % [23].

Таким образом, совершенствование организации оказания медицинской помощи больным глаукомой является проблемой актуальной и масштабной.

Цель исследования – обоснование совершенствования организации медицинской помощи больным с глаукомой в Кыргызской Республике для снижения факторов рисков развития заболевания.

¹ Об усилении мероприятий по раннему выявлению и активному наблюдению больных глаукомой: Приказ Министерства Здравоохранения Кыргызской Республики от 12 марта 2009 г. № 102 [Электронный ресурс] // Континент: информационная система. – URL: https://continent-online.com/Document/?doc_id=30401140 (дата обращения: 14.10.2025).

Материалы и методы. Проведена оценка распространенности глаукомы в г. Бишкеке в динамике и факторов риска развития заболевания по данным Медико-информационного центра электронного здравоохранения Министерства здравоохранения Кыргызской Республики; осуществлен социологический опрос пациентов Национального госпиталя отделения микрохирургии глаза г. Бишкека. С учетом выявленных факторов распространенности заболевания составлен алгоритм по совершенствованию оказания медицинской помощи.

Применялись статистический, аналитический, моделирование, социологический методы исследования.

Обследованы пациенты, обратившиеся в отделение микрохирургии глаза Национального госпиталя по поводу глаукомы.

Результаты и их обсуждение. Значительный уровень частоты глаукомы в динамике (табл. 1) у взрослых и подростков наблюдался в 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 гг. Так, показатель находился в 2015 г. на уровне 306,3 на 100 тыс. населения,

в 2016 г. – 364,5сл./100 тыс. населения (прирост +19,0 %), в 2017 г. – 404,9 сл./100 тыс. (прирост +40,4 % к предыдущему году), в 2018 г. – 422,1 сл./100 тыс. (+17,2 %), в 2019 г. – 492,1сл./100 тыс. (+70,0 %).

Значимый уровень заболеваний глаз в г. Бишкеке у взрослого населения был выявлен в 2017, 2021 гг., а также в 2016, 2019, 2022 гг., а глаукомы – в 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 гг. Доля глаукомы с 2014 по 2023 г. составляла от 7,9 до 5,6 %.

При несвоевременном оказании медицинской помощи развитие глаукомы прогнозируется у 49,0 ± 2,8 % мужчин и 51,0 ± 2,8 % женщин. Факторами риска развития глаукомы являются увеличение артериального давления (выявлено у 97,0 % пациентов), возраст пациентов – 93,0 %, наследственная отягощенность – 91,3 % и заболеваемость сахарным диабетом – 79,0 % (табл. 2).

В целях совершенствования профилактики глаукомы в Кыргызской Республике принят Приказ Министерства здравоохранения Кыргызской Респуб-

Таблица 1

Распространенность заболеваний глаза и глаукомы в динамике в г. Бишкеке

№ п/п	Год	Болезни глаза и его придатков		В том числе глаукома	
		абс. число	<i>P</i> , сл./100 тыс. чел.	абс. число	<i>P</i>
1	2014	41788	4510,3	1956	211,1
	Абс. прирост	-	-	-	-
	Темп прироста*	-	-	-	-
2	2015	42019	4432,8	2151	226,9
	Абс. прирост	-	-77,5	-	+15,8
	Темп прироста	-	-1,7	-	+7,5
3	2016	47680	4918,5	2598	301,9
	Абс. прирост	-	+485,7	-	+7,5
	Темп прироста	-	+10,9	-	+33,0
4	2017	58382	5890,0	2927	295,3
	Абс. прирост	-	+971,5	-	-6,6
	Темп прироста	-	+19,7	-	-2,1
5	2018	59039	5818,3	3096	332,4
	Абс. прирост	-	-71,7	-	+37,1
	Темп прироста	-	-1,2	-	+12,6
6	2019	62484	6004,7	3708	356,3
	Абс. прирост	-	+186,4	-	+23,9
	Темп прироста	-	+3,2	-	+7,2
7	2020	35327	3320,2	2057	193,3
	Абс. прирост	-	-2684,5	-	-16,3
	Темп прироста	-	-4,4	-	-45,7
8	2021	44690	4114,1	2279	209,8
	Абс. прирост	-	+793,9	-	+16,5
	Темп прироста	-	+23,9	-	+8,5
9	2022	57863	5123,2	2502	221,5
	Абс. прирост	-	+1009,1	-	+11,6
	Темп прироста	-	+24,5	-	+5,5
10	2023	52500	4544,4	2257	195,4
	Абс. прирост	-	-578,8	-	-26,1
	Темп прироста	-	-11,3	-	-11,8

Примечание: *P* – показатель частоты заболеваемости на 100 тыс. населения; * – темп прироста к предыдущему году.

Доля влияния факторов риска на развитие глаукомы

№ п/п	Фактор риска	Факторы риска (%)	Доля влияния (R, %)	
			мужчины	женщины
1	Артериальное давление (повышенное)	97,0	53,3	49,0
2	Возраст 40 лет и старше	93,0	50,4	54,7
3	Наследственность	91,3	60,8	67,2
4	Заболеваемость сахарным диабетом	79,0	47,6	60,8

Примечание: R, % – коэффициент детерминации и доля влияния.

лики от 12 марта 2009 г. № 102 «Об усилении мероприятий по раннему выявлению и активному наблюдению больных глаукомой», анализ практической деятельности показывает необходимость усиления работы по его реализации. Согласно указанному приказу, необходимо создание: кабинета доврачебного приема в Центре семейной медицины; офтальмологического кабинета в Центре семейной медицины; офтальмологического кабинета в консультативных поликлиниках Национального госпиталя и областных больниц, в республиканском диагностическом центре, медицинском центре Кыргызской государственной медицинской академии им. И.К. Ахунбаева; офтальмологического отделения Национального госпиталя, областных, городских или территориальных больниц.

Авторами статьи разработан алгоритм по выявлению пациентов с глаукомой на уровне первичной медико-санитарной помощи (рис. 1), который основан на том, что все пациенты в центре семейной медицины, обратившиеся к семейному врачу, особенно в возрасте старше 40 лет и имеющие также сопутствующие заболевания, в обязательном порядке должны проходить тонометрию, которую проводит семейная медицинская сестра.

Пациентам проводят определение остроты зрения, офтальмоскопию и при выявлении изменений направляют к врачу-офтальмологу. Врач-офтальмолог первичной медико-санитарной помощи (центр семейной медицины, центр общеврачебной практики) принимает больных с подозрением на глаукому по направлению семейного врача.

При необходимости врач назначает офтальмогипотензивную терапию, на амбулаторном уровне проводятся курсы дедистрофической терапии. Больные берутся на диспансерное наблюдение. Врач-окулист при необходимости для своевременного лечения глаукомы направляет пациента на лазерное или хирургическое лечение в глаукомный кабинет.

Предложена схема основных функций глаукомных кабинетов, являющихся специализированными структурными подразделениями (рис. 2).

Специалисты районных или межрайонных кабинетов проводят организационно-методическую работу, обеспечивают диспансерное наблюдение над пациентами, оказывают консультативную помощь, при необходимости проводят углубленное обследование, дедистрофическую терапию на амбу-

латорном уровне или в дневном стационаре, лазерное и хирургическое лечение. Ведется санитарно-просветительская работа по вопросам профилактики глаукомы.



Рис. 1. Выявление пациентов с глаукомой на уровне первичной медико-санитарной помощи



Рис. 2. Основные функции глаукомного кабинета



Рис. 3. Основные задачи глаукомного центра

При необходимости больных глаукомой направляют на специализированное офтальмологическое лечение. Глаукомный центр является координирующим звеном всей системы, осуществляет организационно-методическое руководство глаукомными кабинетами, объединяет все организации здравоохранения, которые оказывают помощь больным глауко-

мой. Большое внимание должно уделяться профилактическим осмотрам и диспансерному наблюдению.

Разработаны основные задачи глаукомного центра (рис. 3).

Глаукомный центр должен обеспечивать внедрение новых методов диагностики и лечения глаукомы, проводить ежегодный анализ состояния офтальмологической помощи больным с разработкой рекомендаций и предложений, заниматься вопросами подготовки врачей-офтальмологов, изучая потребности не только в медицинских кадрах, но и в специализированной глаукомной помощи.

Мероприятиями по совершенствованию организации диспансерного наблюдения являются: улучшение проведения санитарно-просветительной работы среди населения и создание образовательных программ для больных, страдающих глаукомой, что позволяет улучшить качество их жизни и вызывает экономический эффект, связанный с уменьшением случаев госпитализаций.

Для повышения эффективности глаукомных центров нами предложено создание регистра по формированию потока пациентов и получению реальных статистических данных.

В комплексе реабилитационных мер по профилактике глаукомы создается Школа глаукомы с целью повышения уровня осведомленности пациентов о заболевании. Пациенты получают сведения о различных аспектах лечения глаукомы, необходимых изменениях в поведении и способах первичной и вторичной профилактики.

Офтальмологические диспансерные обследования на уровне первичной медико-санитарной помощи должны проводиться согласно предложенной схеме (рис. 4).



Рис. 4. Офтальмологическое диспансерное обследование

Острота зрения глаз проверяется по специальной таблице. В тех случаях, когда снижается острота зрения, проводится оптическая коррекция, определяется причина снижения зрения. В неуточненных причинах пациент направляется на последующее обследование к врачу-офтальмологу.

В возрастной категории от 40 лет и старше измеряется внутриглазное давление один раз в год, и при внутриглазном давлении больше 24 мм рт. ст. пациент направляется к офтальмологу с подозрением на глаукому. Врач-офтальмолог осматривает при боковом освещении и в проходящем свете оба глаза, также осматривается глазное дно методом офтальмоскопии. Все данные обследования фиксируются в амбулаторной карте пациента. С подозрением на глаукому назначается лечение и даются профилактические рекомендации.

Врачи первичной медико-санитарной помощи наблюдают за данным пациентом, особенно в тех случаях, когда имеются сопутствующие заболевания, такие как миопия и катаракта.

Периодически у пациента врачом контролируется острота зрения и клиническая рефракция.

Указанные пути по совершенствованию глаукомной помощи больным способствуют улучшению высококвалифицированной офтальмологической помощи, доступности современных методов лечения, а маршрутизация пациентов на разных этапах оказания медицинской помощи будет способствовать не только своевременной диагностике и лечению на современном уровне, но и профилактике глаукомы.

Имеет большое значение выявление и диспансерное наблюдение над пациентами, страдающими глаукомой. Качество организации зависит от работы

противоглаукомной службы, направленной на раннее выявление больных глаукомой с обязательной пожизненной диспансеризацией и постоянным проведением мониторинга не менее одного раза в три месяца.

Выводы. Проведенный анализ распространенности заболеваний глаз в целом и глаукомы в частности показал, что на протяжении многих лет отмечались высокие показатели в исследуемые годы, характеризующиеся высоким темпом прироста, особенно в 2017 и 2021 гг. Увеличение глаукомы выявлено в 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 гг.

Увеличение артериального давления выявлено у 97,0 %, возраст пациентов как фактор риска – 93,0 %, наследственная отягощенность – 91,3 % и заболеваемость сахарным диабетом – 79,0 %.

Системный подход по совершенствованию офтальмологической помощи пациентам с глаукомой основывается на оптимизации развития сети глаукомных кабинетов и центров с внедрением эффективной маршрутизации пациентов на всех уровнях системы здравоохранения. Проведение регулярного скрининга лиц старше 40 лет и пациентов с сопутствующими заболеваниями позволит выявить глаукому на ранних стадиях, снижая риск инвалидизации и потери зрения.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке (финансовом обеспечении) Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина (Грант в рамках Программы развития Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина от 25 июля 2025 года № 337-П).

Конфликт интересов. Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Петров С.Ю., Якубова Л.В., Маркелова О.И. Современные тенденции в лечении глаукомы // Российский офтальмологический журнал. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 136–143. DOI: 10.21516/2072-0076-2024-17-1-136-143
2. Казюрина И.Н., Меньшикова Л.И. Совершенствование организации диспансерного наблюдения пациентов с глаукомой в городской поликлинике // Вестник науки. – 2024. – Т. 4, № 7 (76). – С. 378–415. DOI: 10.24412/2712-8849-2024-776-378-416
3. Динамика распространенности заболеваемости глаз и глаукомы в городе Бишкеке / О.А. Болбачан, Г.К. Оморова, К.Н. Болбачан, Д.Д. Ибраимова // Научное обозрение. – 2025. – № 5. – С. 40–48. DOI: 10.17513/srms.1459
4. Болбачан О.А., Оморова Г.К., Болбачан К.Н. Оценка рисков развития глаукомы в Кыргызской Республике // Здоровье мегаполиса. – 2025. – Т. 6, № 1. – С. 66–75. DOI: 10.47619/2713-2617.zm.2025.v.6i1: 66-75
5. Мовсисян А.Б., Куроедов А.В. Диагностика глаукомы на современном этапе // Клиническая офтальмология. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 47–53. DOI: 10.32364/2311-7729-2023-23-1-47-53
6. Early detection of glaucoma: feature visualization with a deep convolutional network / N.K. Jisy, M.A. Ali, S. Senthil, M.B. Srinivas // Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization. – 2024. – Vol. 12, № 1. – P. 1–12. DOI: 10.1080/21681163.2024.2350508
7. Portable widefield fundus camera with high dynamic range imaging capability / A. Rossi, M. Rahimi, D. Le, T. Son, J.M. Heiferman, R.V.P. Chan, X. Yao // Biomed. Opt. Express. – 2023. – Vol. 14, № 2. – P. 906–917. DOI: 10.1364/BOE.481096
8. Журавлева А.Н., Зуева М.В., Шустов Е.Б. Оптимизация медикаментозного лечения больных глаукомой при сочетании с сопутствующей системной патологией. Часть 1: сердечно-сосудистая патология // Офтальмология. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 321–329. DOI: 10.18008/1816-5095-2020-3-321-329
9. Анализ соответствия оказываемой специализированной медицинской помощи пациентам с глаукомой клиническим рекомендациям (КР 96/1 «Глаукома первичная открытоугольная») в субъектах Российской Федерации / В.В. Нероев, Т.Н. Малишевская, М.П. Харлампиди, Л.А. Михайлова, С.Ю. Петров, А.В. Золотарев, А.Ж. Фурсова, Г.В. Симоненко // Российский офтальмологический журнал. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 7–19. DOI: 10.21516/2072-0076-2024-17-1-7-19
10. Бурганова А.М., Галиуллин Д.А., Галиуллин А.Н. Мониторинг распространенности глаукомы среди населения, проживающего в условиях мегаполиса // Вятский медицинский вестник. – 2020. – № 1 (65). – С. 30–34. DOI: 10.24411/2220-7880-2020-10055

11. Ободова К.В., Стренёв Н.В. Значение анкетирования и скрининговой тонометрии для раннего выявления глаукомы // Национальный журнал Глаукома. – 2024. – Т. 23, № 2. – С. 19–25. DOI: 10.53432/2078-4104-2024-23-2-19-25
12. Определение факторов риска, влияющих на прогрессирование и течение первичной открытоугольной глаукомы у пациентов с разными стадиями заболевания (многоцентровое исследование) / Н.Е. Фомин, П.Ч. Завадский, А.В. Куроедов, А.В. Селезнев, З.М. Нагорнова, Д.А. Барышникова, Р.В. Авдеев, А.М. Гетманова [и др.] // Клиническая офтальмология. – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 80–90. DOI: 10.32364/2311-7729-2022-22-2-80-90
13. Пути совершенствования исследования качества жизни пациента в офтальмологии – мировые тенденции и собственный опыт / И.Г. Овечкин, Н.И. Овечкин, Д.Ф. Покровский, А.И. Павлов, А.В. Шакула // Национальный журнал Глаукома. – 2022. – Т. 21, № 3. – С. 58–63. DOI: 10.53432/2078-4104-2022-21-3-58-63
14. Региональный регистр пациентов с глаукомой. Методологические аспекты построения, возможности использования в клинической практике / Т.Н. Малишевская, С.М. Косакян, Д.Б. Егоров, Л.А. Протопопов, С.В. Шатских, И.В. Немцова, А.С. Власова, Ю.Е. Филиппова, Э.Э. Фарикова // Российский офтальмологический журнал. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 7–35. DOI: 10.21516/2072-0076-2020-13-4-supplement-7-35
15. Таштитова Л.Б., Алдашева Н.А. Ранняя диагностика глаукомы в условиях первичной медико-санитарной помощи // Вестник Казахского Национального медицинского университета. – 2020. – № 4. – С. 183–186.
16. ТонOMETрическое внутриглазное давление у взрослого населения: популяционное исследование / Е.А. Егоров, С.Ю. Петров, В.В. Городничий, А.В. Куроедов, В.Н. Алексеев, А.Н. Амиров, С.В. Балалин, С.Н. Басинский [и др.] // Национальный журнал Глаукома. – 2020. – Т. 19, № 2. – С. 39–50. DOI: 10.25700/NJG.2020.02.05
17. Хдери Х. Оценка прогностических коэффициентов как предикторов развития первичной закрытоугольной глаукомы // Национальный журнал Глаукома. – 2020. – Т. 19, № 1. – С. 35–38. DOI: 10.25700/NJG.2020.01.05
18. Allison K., Patel D., Alabi O. Epidemiology of Glaucoma: The Past, Present, and Predictions for the Future // Cureus. – 2020. – Vol. 12, № 11. – P. e11686. DOI: 10.7759/cureus.11686
19. Early diagnostics and interventional glaucoma / T. De Francesco, J. Bacharach, O. Smith, M. Shah // Ther. Adv. Ophthalmol. – 2024. – Vol. 16. – P. 25158414241287431. DOI: 10.1177/25158414241287431
20. Prevalence of Primary Angle Closure Glaucoma in the Last 20 Years: A Meta-Analysis and Systematic Review / N. Zhang, J. Wang, B. Chen, Y. Li, B. Jiang // Front. Med. (Lausanne). – 2021. – Vol. 7. – P. 624179. DOI: 10.3389/fmed.2020.624179
21. Prevalence of primary open angle glaucoma in the last 20 years: a meta-analysis and systematic review / N. Zhang, J. Wang, B. Chen, Y. Li, B. Jiang // Sci. Rep. – 2021. – Vol. 11. – P. 13762. DOI: 10.1038/s41598-021-92971-w
22. Study to Identify and Evaluate Predictor Factors for Primary Open-Angle Glaucoma in Tertiary Prophylactic Actions / G.Z. Munteanu, Z.V.I. Munteanu, C.M. Daina, L.G. Daina, M.C. Coroi, C. Domnariu, D. Badau, G. Roiu // J. Pers. Med. – 2022. – Vol. 12, № 9. – P. 1384. DOI: 10.3390/jpm12091384
23. GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators; Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study // Lancet Glob. Health. – 2021. – Vol. 9, № 2. – P. e144–e160. DOI: 10.1016/S2214-109X (20) 30489-7

Пути оптимизации медицинской помощи при глаукоме для снижения риска развития заболевания / О.А. Болбачан, Г.К. Оморова, Н.М. Асанова, М.А. Мамбетов // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 167–175. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.16

UDC 614.2-007.681

DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.16.eng



Research article

WAYS TO OPTIMIZE HEALTHCARE FOR GLAUCOMA PATIENTS TO MITIGATE RISKS OF THE DISEASE DEVELOPMENT

O.A. Bolbachan¹, G.K. Omorova², N.M. Asanova², M.A. Mambetov¹

¹Kyrgyz-Russian Slavic University named after B.N. Yeltsin, 44 Kievskaya Str., Bishkek, 720000, Kyrgyz Republic

²Kyrgyz State Medical Academy named after I.K. Akhunbaev, 92 Akhunbaeva Str., Bishkek, 720020, Kyrgyz Republic

Glaucoma is the leading cause for ophthalmological disability. The disease determines the global dynamics in prevalence of the diseases of the eye and adnexa, the Kyrgyz Republic included. Such risk factors as elevated blood pressure, patient's age, heredity, and diabetes mellitus are largely considered basic causes of loss of eyesight. It seems quite relevant to improve healthcare provided for glaucoma patients at various levels since the disease diagnostics remains an issue open for discussion so far. Glaucoma screening should be performed by primary healthcare experts.

Our analysis of glaucoma patients' health in the Kyrgyz Republic has revealed that elevated blood pressure is typical for 97.0 % of them. The risk factors for the disease include patient's age over 40 years (93.0 %), hereditary predisposition (91.3 %) and diabetes mellitus (79.0 %).

We suggest a systemic approach to improving ophthalmological healthcare for glaucoma patients. It is based on developing a network of glaucoma consulting rooms and centers together with implementing effective patient routing at every level in the public healthcare system. Regular screening among people older than 40 years and patients with concomitant diseases has been shown to be an effective instrument for diagnosing glaucoma at its early stages thereby reducing the risk of disability and loss of eye sight.

The following is required to improve high-quality healthcare for glaucoma patients: a before-doctor consulting room at family medicine centers; an ophthalmology consulting room at family medicine centers; an ophthalmology consulting room in polyclinics of the National Hospital and regional hospitals, in the Republican Diagnostic Center, in the Medical center of the Kyrgyz State Medical Academy named after I.K. Akhunbaev; ophthalmological departments in the National Hospital, regional, municipal or territorial hospitals in the Kyrgyz Republic.

Tonometry has been shown to be mandatory for patients aged older than 40 years and those with concomitant diseases (diabetes mellitus, coronary heart disease) within primary healthcare provision. In case glaucoma is suspected, a patient is sent to a glaucoma consulting room to be provided with regular medical check-ups, consultations, and in-depth examination. A glaucoma center is the next stage in providing high-quality healthcare; it is a coordinating link in providing ophthalmological care to glaucoma patients.

Keywords: glaucoma, risk factor, prevalence, screening, primary healthcare, glaucoma consulting room, glaucoma center, medical examination.

References

1. Petrov S.Yu., Yakubova L.V., Markelova O.I. Modern trends in the treatment of glaucoma. *Rossiiskii oftal'mologicheskii zhurnal*, 2024, vol. 17, no. 1, pp. 136–143. DOI: 10.21516/2072-0076-2024-17-1-136-143 (in Russian).
2. Kazyurina I.N., Menshikova L.I. Improving organization of dispensary monitoring of glaucoma patients in the city polyclinic. *Vestnik nauki*, 2024, vol. 4, no. 7 (76), pp. 378–415. DOI: 10.24412/2712-8849-2024-776-378-416 (in Russian).
3. Bolbanchan O.A., Omorova G.K., Bolbanchan K.N., Ibraimova D.D. Prevalence of ocular and glaucoma in Bishkek. *Nauchnoe obozrenie*, 2025, no. 5, pp. 40–48. DOI: 10.17513/srms.1459 (in Russian).
4. Bolbanchan O.A., Omorova G.K., Bolbanchan K.N. Risk Assessment of Glaucoma in the Kyrgyz Republic. *Zdorov'e megapolisa*, 2025, vol. 6, no. 1, pp. 66–75. DOI: 10.47619/2713-2617.zm.2025.v.6i1:66-75 (in Russian).
5. Movsisyan A.B., Kuroyedov A.V. Making a diagnosis of glaucoma at the present time. *Klinicheskaya oftal'mologiya*, 2023, vol. 23, no. 1, pp. 47–53. DOI: 10.32364/2311-7729-2023-23-1-47-53 (in Russian).
6. Jisy N.K., Ali M.A., Senthil S., Srinivas M.B. Early detection of glaucoma: feature visualization with a deep convolutional network. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 1–12. DOI: 10.1080/21681163.2024.2350508
7. Rossi A., Rahimi M., Le D., Son T., Heiferman J.M., Chan R.V.P., Yao X. Portable widefield fundus camera with high dynamic range imaging capability. *Biomed. Opt. Express*, 2023, vol. 14, no. 2, pp. 906–917. DOI: 10.1364/BOE.481096
8. Zhuravleva A.N., Zueva M.V., Shustov E.B. Optimization of Medicinal Treatment of Patients with Glaucoma in Combination with Concurrent System Pathology. Part 1: Cardiovascular Pathology. *Oftal'mologiya*, 2020, vol. 17, no. 3, pp. 321–329. DOI: 10.18008/1816-5095-2020-3-321-329 (in Russian).
9. Neroev V.V., Malishevskaya T.N., Kharlampidi M.P., Mikhaylova L.A., Petrov S.Yu., Zolotarev A.V., Fursova A.Zh., Simonenko G.V. The compliance of specialized medical care of patients with glaucoma to clinical recommendations (CR 96/1 "Primary open-angle glaucoma") in Russian Federation regions. *Rossiiskii oftal'mologicheskii zhurnal*, 2024, vol. 17, no. 1, pp. 7–19. DOI: 10.21516/2072-0076-2024-17-1-7-19 (in Russian).
10. Burganova A.M., Galiullin D.A., Galiullin A.N. Monitoring the prevalence of glaucoma among the population living in a metropolis. *Vyatskii meditsinskii vestnik*, 2020, no. 1 (65), pp. 30–34. DOI: 10.24411/2220-7880-2020-10055 (in Russian).
11. Obodova K.V., Strenov N.V. Importance of questionnaires and screening tonometry for early detection of glaucoma. *Natsional'nyi zhurnal Glaukoma*, 2024, vol. 23, no. 2, pp. 19–25. DOI: 10.53432/2078-4104-2024-23-2-19-25 (in Russian).
12. Fomin N.E., Zavadskiy P.Ch., Kuroedov A.V., Seleznev A.V., Nagornova Z.M., Baryshnikova D.A., Avdeev R.V., Getmanova A.M. [et al.]. Risk factors affecting progression and course of primary open-angle glaucoma in patients with different disease stages (multicenter study). *Klinicheskaya oftal'mologiya*, 2022, vol. 22, no. 2, pp. 80–90. DOI: 10.32364/2311-7729-2022-22-2-80-90 (in Russian).

© Bolbanchan O.A., Omorova G.K., Asanova N.M., Mambetov M.A., 2026

Olga A. Bolbanchan – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Department of Public Health and Healthcare (e-mail: ozick@mail.ru; tel.: +996 556 71-17-41; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3813-3269>).

Guluzad K. Omorova – lecturer at the Department of Ophthalmology (e-mail: gomorova@gmail.com; tel.: +996 555-06-03-80; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4607-6129>).

Nagima M. Asanova – Assistant of the Department of Ophthalmology (e-mail: unknowngirl99@bk.ru; tel.: +996 755-17-03-99; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3507-6842>).

Marat A. Mambetov – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Public Health and Healthcare (e-mail: m.mambetov2012@gmail.com; tel.: +996 773-06-65-81; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1513-037X>).

13. Ovechkin I.G., Ovechkin N.I., Pokrovsky D.F., Pavlov A.I., Shakula A.V. Ways to improve the assessment of the "quality of life" in ophthalmology patients — world trends and own experience. *Natsional'nyi zhurnal Glaukoma*, 2022, vol. 21, no. 3, pp. 58–63. DOI: 10.53432/2078-4104-2022-21-3-58-63 (in Russian).
14. Malishevskaya T.N., Kosakyan S.M., Egorov D.B., Protopopov L.A., Shatskikh S.V., Nemtsova I.V., Vlasova A.S., Filippova Yu.E., Farikova E.E. A regional register of patients with glaucoma. Methodological aspects of creation and use in clinical practice. *Rossiiskii oftal'mologicheskii zhurnal*, 2020, vol. 13, no. 4, pp. 7–35. DOI: 10.21516/2072-0076-2020-13-4-supplement-7-35 (in Russian).
15. Tashtitova L., Aldasheva N. Early diagnosis of glaucoma in primary health care. *Vestnik Kazakhskogo Natsional'nogo meditsinskogo universiteta*, 2020, no. 4, pp. 183–186 (in Russian).
16. Egorov E.A., Petrov S.Yu., Gorodnichy V.V., Kuroyedov A.V., Alekseev V.N., Amirov A.N., Balalin S.V., Basinskiy S.N. [et al.]. Tonometric intraocular pressure in adult population: a population study. *Natsional'nyi zhurnal Glaukoma*, 2020, vol. 19, no. 2, pp. 39–50. DOI: 10.25700/NJG.2020.02.05 (in Russian).
17. Hadiri Kh. Assessment of prognostic coefficients as predictors of primary angle-closure glaucoma development. *Natsional'nyi zhurnal Glaukoma*, 2020, vol. 19, no. 1, pp. 35–38. DOI: 10.25700/NJG.2020.01.05 (in Russian).
18. Allison K., Patel D., Alabi O. Epidemiology of Glaucoma: The Past, Present, and Predictions for the Future. *Cureus*, 2020, vol. 12, no. 11, pp. e11686. DOI: 10.7759/cureus.11686
19. De Francesco T., Bacharach J., Smith O., Shah M. Early diagnostics and interventional glaucoma. *Ther. Adv. Ophthalmol.*, 2024, vol. 16, pp. 25158414241287431. DOI: 10.1177/25158414241287431
20. Zhang N., Wang J., Chen B., Li Y., Jiang B. Prevalence of Primary Angle Closure Glaucoma in the Last 20 Years: A Meta-Analysis and Systematic Review. *Front. Med. (Lausanne)*, 2021, vol. 7, pp. 624179. DOI: 10.3389/fmed.2020.624179
21. Zhang N., Wang J., Chen B., Li Y., Jiang B. Prevalence of primary open angle glaucoma in the last 20 years: a meta-analysis and systematic review. *Sci. Rep.*, 2021, vol. 11, pp. 13762. DOI: 10.1038/s41598-021-92971-w
22. Munteanu G.Z., Munteanu Z.V.I., Daina C.M., Daina L.G., Coroi M.C., Domnariu C., Badau D., Roiu G. Study to Identify and Evaluate Predictor Factors for Primary Open-Angle Glaucoma in Tertiary Prophylactic Actions. *J. Pers. Med.*, 2022, vol. 12, no. 9, pp. 1384. DOI: 10.3390/jpm12091384
23. GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators; Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet Glob. Health*, 2021, vol. 9, no. 2, pp. e144–e160. DOI: 10.1016/S2214-109X(20)30489-7

Bolbachan O.A., Omorova G.K., Asanova N.M., Mambetov M.A. Ways to optimize healthcare for glaucoma patients to mitigate risks of the disease development. Health Risk Analysis, 2026, no. 1, pp. 167–175. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.16.eng

Получена: 18.11.2025

Одобрена: 11.02.2026

Принята к публикации: 26.03.2026

Научная статья

СПЕЦИФИЧЕСКИЙ КОНЦЕНТРАЦИОННЫЙ ПРЕДЕЛ – ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СМЕСЕЙ ПО ОПАСНЫМ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА СВОЙСТВАМ. ЧАСТЬ 2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Д.С. Валуев

Производственный комплекс «Аврора», Республика Казахстан, Z10X5D6, г. Астана, ул. Мәскеу, 40, оф. 401

Работа представляет собой систематический обзор, посвященный анализу методов определения специфических концентрационных пределов (СКП) химических веществ, опасных для здоровья человека.

Поиск публикаций проводился до ноября 2024 г. в электронных базах данных PubMed, Google Scholar и «КиберЛенинка»; до апреля 2025 г. – в электронных базах данных ScienceDirect, eLIBRARY.RU. Вне рамок систематического обзора для веществ, разъедающих / раздражающих кожу, вызывающих серьезное повреждение / раздражение глаз, а также кожных сенсibilизаторов проанализирована возможность определения СКП альтернативными методами (АМ), описанными в стандартах ОЭСР.

В обзор включались публикации на русском и английском языках, описывающие экспериментальные и расчетные подходы к установлению СКП, из обзора исключались исследования, посвященные отходам, синтез данных выполнен в описательной форме.

В систематический обзор включено 14 работ. Обнаружено отсутствие методов определения СКП для респираторных сенсibilизаторов и мутагенов. Для веществ, вызывающих разъедание / раздражение кожи, серьезное повреждение / раздражение глаз, кожных сенсibilизаторов в регуляторной практике используются подходы in vivo и данные, полученные в отношении человека. С целью снижения числа лабораторных животных и оптимизации процедуры определения СКП для веществ, вызывающих разъедание / раздражение кожи и серьезное повреждение / раздражение глаз, предложен базовый концентрационный ряд (БКР), позволяющий рационально использовать АМ.

Для кожных сенсibilизаторов, канцерогенов и репротоксикантов СКП определяются на основе силы токсиканта и (под)класса опасности, что может затруднить внедрение аналогичного подхода в ЕАЭС. При этом значительная диапозонов числовых дескрипторов, применяемых для категоризации токсикантов, часто носят консенсусный характер.

Обзор не включал публикации на других языках и в платных базах; количественный синтез не проводился из-за качественного характера данных.

Работа выявила критические пробелы в существующих методах определения СКП, что подчеркивает необходимость разработки и валидации новых тест-систем, пригодных для интеграции в регуляторную практику.

Ключевые слова: специфический концентрационный предел, методы определения, систематический обзор, пороговое значение, предельная концентрация, химическая продукция, альтернативные методы, стандарты ОЭСР.

Специфический концентрационный предел (СКП) – привлекательный для регулятора и изготовителя химической продукции (ХП) инструмент для точной классификации смесей по опасным свойствам, позволяющий как защитить потребителя от неблагоприятного воздействия ХП, так и сохранить объемы ее выпуска [1]. Однако для им-

плементации СКП в техническое регулирование ЕАЭС необходима разработка руководств либо стандартов с набором методов по их определению и алгоритмов по их выбору, которые в настоящее время отсутствуют.

Цель исследования – систематический обзор литературы, посвященной методам определения

СКП для дальнейшей выработки рекомендаций по их применению.

Материалы и методы. Систематический обзор проведен с учетом критериев PRISMA 2020 [2, 3]. Поиск публикаций проводился по базам данных PubMed, Google Scholar, ScienceDirect, а также в электронных библиотеках eLIBRARY.RU и «КиберЛенинка». Выбор баз обусловлен их доступностью и широким охватом публикаций по токсикологической оценке ХП. Особенности поисковых запросов приведены в табл. 1.

На этапе идентификации публикации отбирались по заголовкам и аннотациям с учетом критериев включения (язык публикации – русский или английский; наличие экспериментальных или расчетных методов определения СКП) и исключения (отходы как объект исследования).

Далее анализировались полные тексты публикаций, отобранных на первом этапе, а также полные тексты публикаций, по которым решение не могло быть принято на основе анализа заголовка и аннотации. Оценку и отбор публикаций проводил один автор, публикации без доступа к полному тексту исключались. Данные извлекались в шаблон Excel со сведениями об источнике, типе публикации, названии, авторах и ссылкой на аннотацию. Дополнительно учитывались публикации, указанные в списках литературы отобранных работ, а также руководство¹.

Для определения СКП веществ, вызывающих разъедание / раздражение кожи, серьезное повреждение / раздражение глаз, а также кожных сенсibilizаторов вне рамок систематического обзора проведена оценка применимости альтернативных методов (АМ), включенных в стандарты ОЭСР.

Синтез извлеченных данных проводился в описательной форме с группировкой по видам опасности и представленности в регуляторной документации.

Результаты и их обсуждение. Особенности поиска. При формулировании поискового запроса выявлены терминологические расхождения между русскоязычными и англоязычными источниками. Во вторых используются термины *general concentration limit* и *specific concentration limit*, в то время как в русскоязычной 10-й редакции Согласованной на глобальном уровне системы классификации опасности и маркировки химической продукции² (СГС) для термина *general concentration limit* использован эквивалент «пороговое значение / предельная концентрация» (ПЗ / ПК). Так как термин *specific concentration limit* в СГС и русскоязычных источниках отсутствует, то поиск в русскоязычных базах проводился по ключевым словам «ПЗ», «ПК» с использованием логического оператора AND для сужения выдачи. Диаграмма систематического обзора с использованием стандартного подхода PRISMA изображена на рис. 1.

Публикации, удовлетворяющие цели работы, приведены в табл. 2.

Разъедание / раздражение кожи. Общие положения. Методы *in vivo*. Специфических исследований, посвященных методам определения СКП веществ с данным видом опасности, найдено не было; отдельные рекомендации приведены в руководстве¹. Описанный в нем подход предполагает учет данных в отношении человека и полученных *in vivo* с помощью метода OECD 404³.

Для поиска СКП автором предлагается следующий базовый концентрационный ряд (БКР): 50 % – 25 % – 10 % – 5 % – 3 % – 1 % – 0,1 % (мас. %),

Таблица 1

Особенности поисковых запросов при проведении систематического обзора

База данных	Ключевые слова	Особенности поискового запроса	Дата извлечения
Google Scholar	«Specific concentration limit»	Из поиска исключались патенты, временной диапазон не устанавливался	19–26.10.2024
Pubmed	«Specific concentration limit»	Временной диапазон 1986–2024 гг.	27.10.2024
ScienceDirect	«Specific concentration limit»	Поле поиска: Find articles with this terms	01–06.04.2025
«КиберЛенинка»	«Пороговое значение», «предельная концентрация»	–	26.10.2025
eLIBRARY.RU	«Пороговое значение», «предельная концентрация»	Поля поиска: «в названии публикации», «в аннотации», «в ключевых статьях», «в названии организации», «в полном тексте». Тип публикации: «статьи в журналах», «книги», «материалы конференций», «наборы данных», «диссертации», «отчеты», «гранты». Параметры поиска: «искать с учетом морфологии». Временной диапазон не устанавливался	06.04.2025

¹Guidance on the Application of the CLP Criteria. Part 3: Health Hazards. Guidance to Regulation (EC) № 1272/2008 on classification, labelling and packaging (CLP) of substances and mixtures. Version 5.0. [Электронный ресурс] // ECHA. – 2024. – URL: https://echa.europa.eu/documents/10162/2324906/clp_part3_en.pdf/ (дата обращения: 09.09.2025).

²Согласованная на глобальном уровне система классификации опасности и маркировки химической продукции (СГС). Десятое пересмотренное издание [Электронный ресурс]. – Нью-Йорк и Женева: Организация Объединенных Наций, 2023. – 667 с. – URL: <https://unece.org/sites/default/files/2023-12/GHS%20Rev10r.pdf> (дата обращения: 09.09.2025).

³Test No. 404: Acute dermal irritation/corrosion. OECD guidelines for the testing of chemicals, Section 4. – Paris: OECD Publishing, 2015. – 8 p. DOI: 10.1787/9789264242678-en

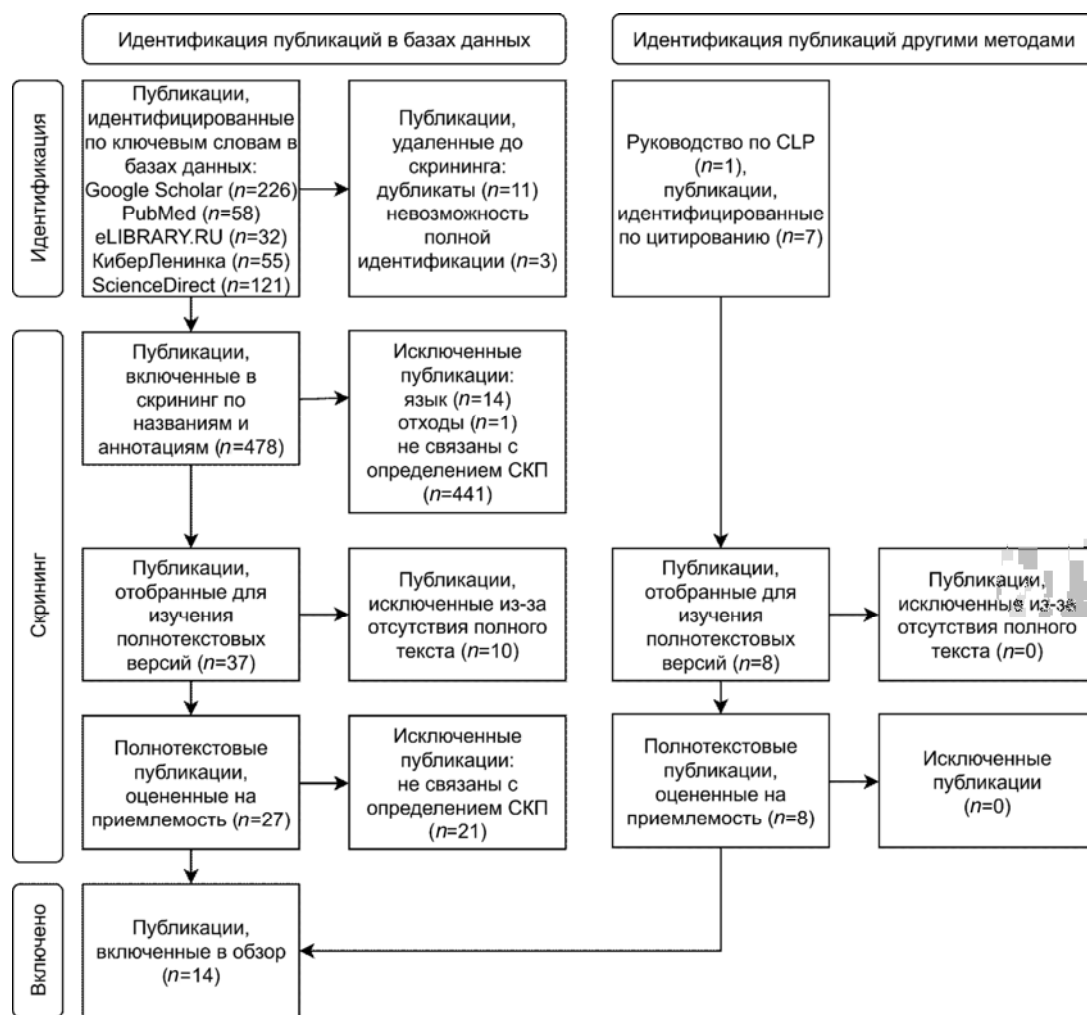


Рис. 1. Диаграмма систематического обзора

Т а б л и ц а 2

Публикации, включенные в обзор

Вид опасности	Найденные источники
Разъедание / раздражение кожи	Руководство ¹
Серьезное повреждение / раздражение глаз	Руководство ¹
Респираторная сенсibilизация	Не найдено
Кожная сенсibilизация	Руководство ¹ , [4, 5]
Мутагенность для зародышевых клеток	Не найдено
Канцерогенность	Руководство ⁴ , [6–13]
Репродуктивная токсичность	Руководство ¹ , [13, 14]
Специфическая токсичность для органов-мишеней при однократном воздействии	Руководство ¹ , [15]
Специфическая токсичность для органов-мишеней при многократном воздействии	Руководство ¹

⁴Directorate-General for Environment (European Commission), European Commission. Guidelines for setting specific concentration limits for carcinogens in Annex I of Directive 67/548/EEC. Inclusion of potency considerations [Электронный ресурс] // An official website of the European Union. – 1999. – URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/33b0ae1e-bba6-4fcc-8005-d137fdd76113> (дата обращения: 02.10.2025).

включающий ПЗ / ПК, установленные в СГС (10; 5; 3; 1 %). Концентрации 25 и 50 % вводятся для веществ с ожидаемо низкой токсичностью при низких разбавлениях, а концентрация 0,1 % – для веществ, вызывающих раздражение кожи даже при высоком разбавлении. Поиск СКП может быть продолжен и внутри каждого из диапазонов БКР

Сложность определения СКП заключается в наличии для одного вещества нескольких концентрационных областей, в границах которых содержащая его смесь имеет разные классы опасности. Для веществ класса опасности 1 возможно существование четырех таких областей (с подобластями в соответствии с подклассами 1А–1С), для веществ классов опасности 2 и 3 – три и две концентрационных области соответственно (рис. 2). Таким образом, исследователь может иметь дело с различными СКП, которые на рис. 2 обозначены как СКП12, СКП23, СКП30.

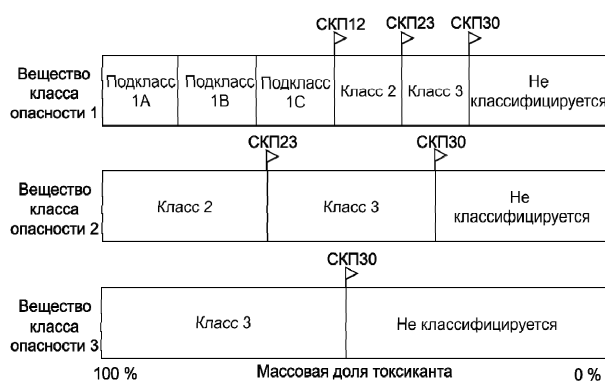


Рис. 2. Концентрационные области для веществ, вызывающих разъедание / раздражение кожи

Применение БКР представлено в табл. 3. Определение СКП рекомендуется начинать с базового сценария, при котором СКП = ПЗ / ПК. При подтверждении базового сценария поиск СКП может быть остановлен либо продолжен в соответствии с восходящим подходом. Если токсичность вещества оказывается ниже предполагаемой, рекомендовано применение нисходящего подхода.

Такой ранее не описанный в литературе подход позволяет существенно минимизировать усилия по определению СКП.

В руководстве¹ отмечено, что надежных АМ по определению СКП не существует. Тем не менее для сокращения числа животных целесообразно рассмотреть возможности по предварительному определению СКП (скринингу) методами *in chemico* и *in vitro / ex vivo*.

Методы *in chemico*. К важным в практическом отношении веществам, вызывающим разъедание / раздражение кожи, относятся кислоты и основания, повреждающие ткани за счет гидролитического разрушения либо коагуляции слагающих их белков⁵ гидроксид-ионами OH^- либо ионами гидроксония H_3O^+ .

Показано, что между остаточной кислотностью (ОК), остаточной щелочностью (ОЩ), pH и способностью вещества вызывать повреждение кожи существует количественная связь [16]. Таким образом,

скрининг СКП для кислот и оснований может быть сведен к определению pH и ОК (ОЩ) в их растворах возрастающих концентраций. За СКП12 при таком анализе может быть принята минимальная концентрация, при которой для основания и кислоты выполняются условия (1) и (2) соответственно, а за СКП23 – условия (3) и (4):

$$\text{pH} + \frac{1}{12} \text{ОЩ} = 14,5, \quad (1)$$

$$\text{pH} - \frac{1}{12} \text{ОК} = -0,5, \quad (2)$$

$$\text{pH} + \frac{1}{6} \text{ОЩ} = 13, \quad (3)$$

$$\text{pH} - \frac{1}{6} \text{ОК} = 1. \quad (4)$$

К недостаткам данного метода можно отнести то, что он не учитывает действие противоиона, который может повреждать кожу, например, за счет окисления тканей или цитотоксического действия. Кроме того, метод не прошел широкую валидацию, до сих пор не стандартизирован, а измерения pH в области экстремальных значений могут иметь значительную погрешность [17].

Методы *in vitro / ex vivo*. Методы *in vitro / ex vivo*, пригодные для скрининга СКП, приведены в табл. 4. При составлении таблицы учитывали классы опасности, для идентификации которых разработаны соответствующие методы. К примеру, если метод позволяет причислить вещество к классу опасности 1, то он позволяет определить и его СКП12 как наименьшую концентрацию раствора, также имеющего класс опасности 1. При выборе конкретного метода следует учитывать его ограничения, связанные с характером исследуемого вещества.

Так, методы, описанные в OECD 439, не позволяют дифференцировать вещества класса опасности 3 и неклассифицируемые, поэтому интерпретировать полученные с его помощью данные следует осторожно.

Таблица 3

Применение БКР для веществ, вызывающих разъедание / раздражение кожи

Класс опасности	Нисходящий подход	Базовый сценарий	Восходящий подход
1	50 % ← 25 % ← 10 % ←	5 % (СКП12)	→ 3 % → 1 % → 0,1 %
1	50 % ← 25 % ← 10 % ← 5 % ← 3 % ←	1 % (СКП23)	→ 0,1 %
2	50 % ← 25 % ←	10 % (СКП23)	→ 5 % → 3 % → 1 % → 0,1 %
2	50 % ← 25 % ← 10 % ← 5 % ← 3 % ←	1 % (СКП30)	→ 0,1 %
3	50 % ← 25 % ←	10 % (СКП30)	→ 5 % → 3 % → 1 % → 0,1 %

⁵ Парамонов Б.А., Порембский Я.О., Яблонский В.Г. Ожоги: руководство для врачей. – СПб.: СпецЛит, 2000. – 480 с.

Таблица 4

Методы *in vitro* / *ex vivo* для определения СКП веществ, вызывающих разъедание / раздражение кожи

Стандарт	СКП12	СКП23	СКП30
OECD 435 ⁶	+	-	-
OECD 430 ⁷	+	-	-
OECD 431 ⁸	+	-	-
OECD 439 ⁹	-	±	-

Примечание: «+» – метод применим; «-» – метод неприменим; «±» – метод имеет существенные ограничения.

Серьезное повреждение / раздражение глаз.

Общие положения. Методы *in vivo*. Для веществ с данным видом опасности в процессе литературного поиска также не было найдено специфических методов определения СКП.

При определении СКП автор предлагает использовать алгоритм и БКР, предложенные выше для веществ, вызывающих разъедание / раздражение кожи, в соответствии с табл. 5.

Предлагается проводить скрининг СКП с помощью АМ, а валидацию – *in vivo*¹ с помощью метода, описанного в OECD 405¹⁰.

В зависимости от класса опасности для изучаемого вещества возможно существование нескольких СКП: СКП12А, СКП2А2В, СКП2В0 (рис. 3).

Методы *in chemico*. Для скрининга СКП кислот и оснований может быть использован метод *in chemico*, описанный выше. С учетом большей чувствительности ткани глаз к ирритантам [18] и ограниченному числу валидационных исследований, применять его следует осторожно [17]. По всей видимости, полученные с его помощью значения СКП будут завышены.

Методы *in vitro* / *ex vivo*. Возможность использования методов *in vitro* / *ex vivo* для скрининга СКП суммирована в табл. 6. Оценка применимости

методов выполнена по принципам, описанным выше для разъедания / раздражения кожи.

В методах, описанных в OECD 460 и OECD 491, для классификации чистых веществ испытывают их растворы определенной концентрации. При определении СКП концентрация испытуемых растворов должна быть меньше, однако без валидационного тестирования установить ее не представляется возможным, что на данном этапе исключает использование данных методов. По этой же причине не применим для определения СКП твердых веществ метод OECD 437. В отношении жидкой ХП данный метод применим для веществ, не являющихся поверхностно-активными.

В настоящее время не существует АМ, способных определить СКП2А2В, поскольку отличие между подклассами опасности 2А и 2В заключается во времени восстановления повреждений глаза, которое не может быть оценено с помощью стандартных моделей *ex vivo*. Решением проблемы может стать разработка искусственного глаза с длительно поддерживаемой жизнеспособностью.

Респираторная сенсибилизация. Методов определения СКП для веществ с данным видом опасности не найдено, так как отсутствует и общепринятый стандартный метод испытаний, который бы мог выявить наличие у ХП респираторной сенсибилизации [19]. Лишь после разработки такого метода можно будет обсуждать его применимость для оценки СКП.

Кожная сенсибилизация. Общие положения. Методы *in vivo*. В ЕС определение СКП кожных сенсибилизаторов основано на концепции силы токсиканта (potency) [4], согласно которой кожные сенсибилизаторы делятся на три категории: умеренные (moderate), сильные (strong) и чрезвычайно сильные (extreme). При этом СКП, равный 0,001 %, устанавливается лишь для чрезвычайно сильных сенсибилизаторов, а для умеренных и сильных применяют ПЗ / ПК, равные 1 и 0,1 % соответственно.

Таблица 5

Применение БКР для веществ, вызывающих серьезные повреждения / раздражение глаз

Класс опасности	Нисходящий подход	Базовый сценарий	Восходящий подход
1	50 % ← 25 % ← 10 % ← 5 % ←	3 % (СКП12)	→ 1 % → 0,1 %
1	50 % ← 25 % ← 10 % ← 5 % ← 3 % ←	1 % (СКП20)	→ 0,1 %
2	50 % ← 25 % ←	10 % (СКП20)	→ 5 % → 3 % → 1 % → 0,1 %

⁶ Test No. 435: In vitro membrane barrier test method for skin corrosion // OECD guidelines for the testing of chemicals, Section 4. – Paris: OECD Publishing, 2015. – 13 p. DOI: 10.1787/9789264242791-en

⁷ Test No. 430: In vitro skin corrosion transcutaneous electrical resistance test method (TER) // OECD guidelines for the testing of chemicals, Section 4. – Paris: OECD Publishing, 2015. – 15 p. DOI: 10.1787/9789264242739-en

⁸ Test No. 431: In vitro corrosion: reconstructed human epidermis (RHE) test method // OECD guidelines for the testing of chemicals, Section 4. – Paris: OECD Publishing, 2025. – 27 p. DOI: 10.1787/9789264264618-en

⁹ Test No. 439: In vitro skin irritation: reconstructed human epidermis test method // OECD guidelines for the testing of chemicals, Section 4. – Paris: OECD Publishing, 2025. – 27 p. DOI: 10.1787/9789264242845-en

¹⁰ Test No. 405: Acute eye irritation / corrosion // OECD guidelines for the testing of chemicals, Section 4. – Paris: OECD Publishing, 2023. – 13 p. DOI: 10.1787/9789264185333-en

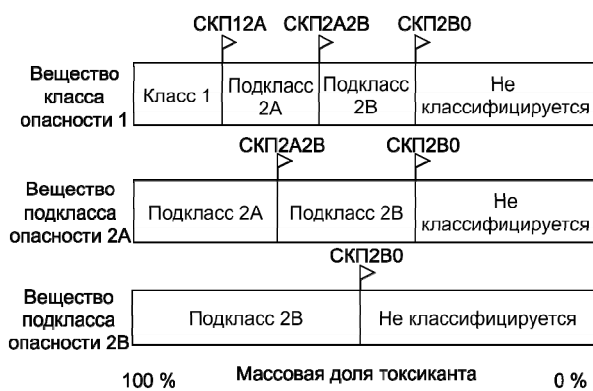


Рис. 3. Концентрационные области для веществ, вызывающих серьезные повреждения / раздражение глаз

Таблица 6

Методы *in vitro* / *ex vivo* для определения СКП веществ, вызывающих серьезное повреждение / раздражение глаз

Стандарт OECD	СКП12	СКП20
OECD 460 ¹¹	-	-
OECD 492 ¹²	-	+
OECD 491 ¹³	-	-
OECD 438 ¹⁴	+	+
OECD 437 ¹⁵	±	±
OECD 492B ¹⁶	+	+

Примечание: «+» – метод применим; «-» – метод неприменим; «±» – метод имеет существенные ограничения.

Однако такой подход подвергается критике из-за отсутствия достаточных оснований для предложенной классификации [5]. Кроме того, неясно, почему при переходе от сильных к чрезвычайно сильным сенсибилизаторам концентрационный предел уменьшается в 100 раз, а при переходе от умеренных к сильным – в 10.

Таблица 7

Критерии установления СКП и ПЗ / ПК для кожных сенсибилизаторов по [5]

Категория сенсибилизатора	СКП либо ПЗ / ПК, %
Слабый	> 10 %
Умеренный	> 1 %
Сильный	> 0,1 %
Чрезвычайно сильный	> 0,01 %

В основе альтернативной классификации [5] лежит анализ эффективных концентраций (в мкг/см²) 46 сенсибилизаторов, вызывающих индукцию аллергической реакции у 5 % испытуемых. Предложенное в [5] деление сенсибилизаторов на четыре категории (табл. 7) обусловлено тем, что отношение между наибольшей и наименьшей эффективной концентрациями для изученных сенсибилизаторов составляет четыре порядка. Существуют примеры выделения и большего числа категорий [20].

В ЕС категоризацию сенсибилизатора проводят по концентрации, вызывающей индукцию аллергической реакции, и (или) доле сенсибилизированных животных одним из методов *in vivo*¹: методом локальных лимфатических узлов (МЛЛУ), максимизационным тестом Магнуссона и Клигмана (МТМК) и тестом Бюхлера (табл. 8).

Применение подобного подхода при категоризации кожных сенсибилизаторов в ЕАЭС может вызвать сложности, так как в ЕАЭС ПЗ / ПК для подклассов опасности 1А и 1В совпадают¹⁷. Это означает, что аллергены обоих подклассов представляют опасность в смеси при одинаковых концентрациях (т.е. фактически обладают равной силой), хотя классификационные критерии СГС подразумевают иное².

Методы *in chemico*. Из трех методов идентификации кожных сенсибилизаторов *in chemico*,

¹¹ Test No. 460: Fluorescein leakage test method for identifying ocular corrosives and severe irritants // OECD guidelines for the testing of chemicals, Section 4. – Paris: OECD Publishing, 2023. – 17 p. DOI: 10.1787/9789264185401-en

¹² Test No. 492: Reconstructed human cornea-like epithelium (RhCE) test method for identifying chemicals not requiring classification and labelling for eye irritation or serious eye damage // OECD guidelines for the testing of chemicals, Section 4. – Paris: OECD Publishing, 2025. – 40 p. DOI: 10.1787/9789264242548-en

¹³ Test No. 491: Short time exposure *in vitro* test method for identifying i) chemicals inducing serious eye damage and ii) chemicals not requiring classification for eye irritation or serious eye damage // OECD guidelines for the testing of chemicals, Section 4. – Paris: OECD Publishing, 2025. – 18 p. DOI: 10.1787/9789264242432-en

¹⁴ Test No. 438: Isolated chicken eye test method for identifying i) chemicals inducing serious eye damage and ii) chemicals not requiring classification for eye irritation or serious eye damage // OECD guidelines for the testing of chemicals, Section 4. – Paris: OECD Publishing, 2023. – 28 p. DOI: 10.1787/9789264203860-en

¹⁵ Test No. 437: Bovine corneal opacity and permeability test method for identifying i) chemicals inducing serious eye damage and ii) chemicals not requiring classification for eye irritation or serious eye damage // OECD guidelines for the testing of chemicals, Section 4. – Paris: OECD Publishing, 2025. – 30 p. DOI: 10.1787/9789264203846-en

¹⁶ Test No. 492B: Reconstructed human cornea-like epithelium (RHCE) test method for eye hazard identification // OECD guidelines for the testing of chemicals, Section 4. – Paris: OECD Publishing, 2024. – 35 p. DOI: 10.1787/0d603916-en

¹⁷ ГОСТ 32423-2013. Классификация опасности смесевой химической продукции по воздействию на организм: Межгосударственный стандарт [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108173> (дата обращения: 09.09.2025).

Критерии установления категории кожных сенсibilизаторов по данным *in vivo*

Категория сенсibilизатора	МЛЛУ	МТМК		Тест Бюхлера	
	ЕС3, %	$C_{инд}$, %	$W_{сенс}$, %	$C_{инд}$, %	$W_{сенс}$, %
Умеренный	> 2	> 1,0	≥ 30	> 20	≥ 15
		> 0,1, но $\leq 1,0$	≥ 30 , но < 60	> 0,2, но ≤ 20	≥ 15 , но < 60
Сильный	> 0,2, но ≤ 2	> 0,1, но $\leq 1,0$	≥ 60	> 0,2, но ≤ 20	≥ 60
		$\leq 0,1$	≥ 30 , но < 60	$\leq 0,2$	≥ 15 , но < 60
Чрезвычайно сильный	$\leq 0,2$	$\leq 0,1$	≥ 60	$\leq 0,2$	≥ 60

Примечание: ЕС3 – вычисленное значение концентрации исследуемого вещества, при котором индекс стимуляции пролиферации лимфоцитов в лимфоузлах равен 3; $C_{инд}$ – концентрация, вызывающая индукцию сенсibilизации; $W_{сенс}$ – доля сенсibilизированных животных.

описанных в OECD 442C¹⁸, лишь Kinetic Direct Peptide Reactivity Assay (kDRPA) позволяет выявлять сенсibilизаторы подкласса опасности 1А, что важно для оценки их силы. Ключевой параметр kDRPA – Igk_{max} (десятичный логарифм максимальной константы скорости реакции сенсibilизатора с цистеинсодержащим пептидом) коррелирует с силой сенсibilизатора, определяемой с помощью МЛЛУ, наиболее тесно [21].

В ряде работ [22, 23] разработаны корреляционные уравнения, связывающие ЕС3 и подобные Igk_{max} кинетические параметры, которые можно использовать для скрининга СКП кожных сенсibilизаторов, например, новых душистых веществ, тестирование которых на животных в ЕС запрещено [24]. Однако из-за разнообразия химических структур сенсibilизаторов одного корреляционного уравнения может быть недостаточно [25, 26], что требует подтверждающих экспериментов *in vivo*. Для предсказания силы сенсibilизатора изучаются возможности и двух других методов *in chemico* [27–29].

Методы *in vitro*. Методы идентификации сенсibilизаторов *in vitro* описаны в OECD 442D¹⁹ и OECD 442E²⁰ и основаны на ключевых событиях неблагоприятного пути воздействия. Для определения СКП они не используются, но могут применяться для оценки эффективной концентрации кожного сенсibilизатора [27–29] совместно с методами *in chemico*.

Мутагенность для зародышевых клеток. Отмечено¹, что в настоящее время не существует научно обоснованного метода установления СКП для мутагенов. Сложности количественной оценки

мутагенного действия, которая в перспективе может быть положена в основу установления СКП, и возможные пути их преодоления суммированы в [30].

Канцерогенность. Определение СКП для канцерогенов в ЕС основано на оценке силы токсиканта, для чего первоначально был предложен параметр TD_{50} – ежедневная доза канцерогена, в 2 раза снижающая вероятность того, что животное проживет стандартное время жизни без опухоли [6].

Большая продолжительность испытаний на канцерогенность (два года) и необходимость использования значительного количества животных существенно ограничивают возможность построения кривых «доза – эффект» и определения TD_{50} . По этой причине в руководстве¹ для оценки силы канцерогена выбран числовой дескриптор T_{25} , нахождение которого не требует сложных расчетов и построения кривой «доза – эффект». T_{25} определяется как ежедневная доза канцерогена (в мг/кг массы тела в день), в условиях долгосрочного эксперимента вызывающая злокачественные опухоли у 25 % экспериментальных животных (с поправкой на возникновение спонтанных опухолей). В случае, если опухоли возникают у меньшего или большего числа животных, производится пересчет дозы в предположении, что доля животных с опухолями прямо пропорциональна дозе канцерогена.

Требования к экспериментам, данные которых могут быть использованы для определения T_{25} , и методика расчета детально описаны в руководстве⁴.

В зависимости от значения T_{25} канцерогены делят на три категории, для каждой из которой устанавливаются СКП или ПЗ/ПК с учетом (под)класса опасности (табл. 9) [13].

¹⁸ Test No. 442C: In chemico skin sensitisation: assays addressing the adverse outcome pathway key event on covalent binding to proteins // OECD guidelines for the testing of chemicals, Section 4. – Paris: OECD Publishing, 2025. – 60 p. DOI: 10.1787/9789264229709-en

¹⁹ Test No. 442D: In vitro skin sensitisation: assays addressing the adverse outcome pathway key event on keratinocyte activation // OECD guidelines for the testing of chemicals, Section 4. – Paris: OECD Publishing, 2025. – 67 p. DOI: 10.1787/9789264229822-en

²⁰ Test No. 442E: In vitro skin sensitisation: in vitro skin sensitisation assays addressing the key event on activation of dendritic cells on the adverse outcome pathway for skin sensitization // OECD guidelines for the testing of chemicals, Section 4. – Paris: OECD Publishing, 2023. – 91 p. DOI: 10.1787/9789264264359-en

Критерии установления СКП для канцерогенов

Категория канцерогена	T_{25} , мг/кг в день	СКП или ПЗ / ПК, %		
		для подкласса 1А	для подкласса 1В	для класса 2
Слабый	> 100	-	1	1–5
Умеренный	> 1, но ≤ 100	0,1	0,1	1
Сильный	≤ 1	0,01	0,01	0,1

Выбор диапазонов значений T_{25} осуществлен таким образом, чтобы наибольшее число канцерогенов попало в категорию умеренных.

Зависимость СКП от (под)класса обусловлена тем, что уровень доказательств канцерогенного действия (доказано для человека; доказано для животных; доказательства ограничены), определяющий (под)класс опасности, указывает и на его категорию. Так, канцерогены подкласса 1А не могут быть слабыми, иначе бы их действие на человека не было бы столь заметным. В этом контексте установление единых ПЗ / ПК (0,1 %), применяемых в ЕЭАС¹⁷ для канцерогенов всех (под)классов, противоречит подходу ЕС, что может создать трудности при разработке системы определения СКП.

На последнем этапе возможна корректировка СКП с применением модифицирующих факторов (МФ), если значение T_{25} в 3 раза выше или ниже значения одной из границ диапазона [7]. МФ (табл. 10) призваны компенсировать ограниченность данных по зависимости «доза – эффект» и линейный характер интерполяции при расчете T_{25} . Действительно, для низкоспецифичных и генотоксичных канцерогенов T_{25} в несколько (3–10) раз выше, чем для высокоспецифичных и негенотоксичных [8]. Однако использование корреляционных зависимостей, определенных на основании ограниченных экспериментальных данных, для оценки новых веществ фактически приводит к двойному учету МФ и может необоснованно занижать СКП.

Ввиду сложности прямого анализа токсикокинетики у человека и возможного разнонаправленного действия МФ автор полагает, что наиболее значимым среди них является характер зависимости «доза – эффект». Однако при его учете следует кон-

кретизировать, какую частоту возникновения опухолей следует считать высокой.

Закономерно обсуждаются ограничения числового дескриптора T_{25} , так как он рассчитывается по одной дозе, даже если исследовалось несколько доз канцерогена [9]. Более точно учитывает все имеющиеся данные числовой дескриптор Benchmark Dose (BMD) [12]. Сравнение двух подходов показывает противоречивые результаты: как подтверждающие хорошую корреляцию дескрипторов [10], так и указывающие на то, что использование T_{25} завышает опасность канцерогена [11]. Предполагается, что широкий доступ к программному обеспечению для расчета BMD позволит точнее оценивать СКП и категорию, а следовательно, и опасность канцерогенов [12].

Репродуктивная токсичность. Подход к определению СКП для репротоксикантов¹ основан на работе [13], в которой проанализированы данные по 99 веществам.

Определение СКП включает следующие этапы [14]: а) расчет числового дескриптора ED₁₀ – дозы (в мг/кг в сутки), при которой неблагоприятный эффект у животных опытной группы на 10 % выше, чем в контрольной группе; б) определение категории репротоксиканта; в) учет МФ.

Выбор СКП осуществляется в зависимости от категории и (под)класса репротоксиканта (табл. 11).

Выбор диапазонов ED₁₀ базируется на распределении известных данных: предполагается, что к умеренным репротоксикантам, для которых устанавливаются ПЗ / ПК, а не СКП, будет отнесено большинство (70–80 %) веществ. Такое распределение может достигаться и при других границах диапазонов для ED₁₀, поэтому сделанный в руково-

Таблица 10

МФ для установления категории канцерогенов

МФ	Связь с категорией канцерогена
Характер зависимости «доза – эффект»	Сильные канцерогены: крутая зависимость, высокая частота опухолей даже при низких дозах. Слабые канцерогены: пологая зависимость, низкая частота опухолей даже при высоких дозах
Тканевая, видовая и половая специфичность действия	Сильные канцерогены: вызывают опухоли в различных органах, у разных видов и у животных обоих полов. Слабые канцерогены: действуют избирательно – опухоли возникают в отдельных органах, у ограниченного числа видов и часто у животных одного пола
Генотоксичность	Сильные канцерогены: обладают подтвержденной генотоксичностью. Слабые канцерогены: генотоксичность отсутствует или не доказана
Токсикокинетика в сравнении с человеком	Сильные канцерогены: выше биодоступность, быстрее активируются, медленнее дезактивируются. Слабые канцерогены: ниже биодоступность, медленнее активируются, быстрее дезактивируются

Критерии установления СКП для репротоксикантов

Категория репротоксиканта	ED ₁₀ , мг/кг в день	СКП или ПЗ / ПК, %		
		для подкласса 1А	для подкласса 1В	для класса 2
Слабый	≥ 400	3	3	3–10
Умеренный	> 4, но < 400	0,3	0,3	3
Сильный	≤ 4	0,03	0,03	0,3

Таблица 12

МФ для установления категории репротоксикантов

МФ	Связь с категорией репротоксиканта
Тяжесть эффекта	Сильные репротоксиканты: тяжелые пороки развития плода, необратимые нарушения фертильности
Доступность данных	При использовании скрининговых методов, изучения 28-дневной токсичности или нестандартных методов, не позволяющих исключить проявления репротоксичности при низких дозах, полученное значение ED ₁₀ не должно использоваться для установления СКП > ПЗ / ПК. Если ED ₁₀ лежит на границе между репротоксикантами средней и высокой силы и отсутствуют данные по NOAEL, следует рассмотреть отнесение репротоксиканта к сильным
Характер зависимости «доза – эффект»	Если ED ₁₀ > LOAEL, следует рассмотреть возможность повышения категории репротоксиканта
Чувствительность мишени в сравнении с человеком	Сильные репротоксиканты: мишень более чувствительна. Слабые репротоксиканты: мишень менее чувствительна
Токсикокинетика в сравнении с человеком	Сильные репротоксиканты: выше биодоступность, быстрее активируются, медленнее дезактивируются. Слабые репротоксиканты: ниже биодоступность, медленнее активируются, быстрее дезактивируются
Биоаккумуляция	Сильные репротоксиканты: аккумулируются сильнее

дстве¹ выбор является в определенном смысле произвольным и обеспечен консенсусом экспертов.

Отмечается, что воспроизводимость данных по NOAEL в опытах *in vivo* по репродуктивной токсичности достаточно невысока¹, что и обусловило выделение только трех категорий репротоксикантов. Кроме того, несмотря на заметное различие репротоксикантов по силе (разница в LOAEL достигает шести порядков), статистический анализ распределения известных данных позволяет предположить, что большинство репротоксикантов действительно может быть объединено в одну категорию.

МФ, влияющие на выбор категории репротоксиканта, приведены в табл. 12.

Применение предлагаемых МФ для определения категории репротоксикантов, по мнению автора, представляет собой весьма сложную задачу в силу необходимости учета тонких деталей проводимых исследований и нечеткой формулировки ряда самих факторов.

К примеру, если эксперимент по изучению влияния ХП на развитие плода предполагает длительную затравку до наступления беременности, то он уже учитывает влияние биоаккумуляции. Учет биоаккумуляции не требуется, если стационарная концентрация репротоксиканта в плазме при длительном введении превышает его концентрацию в плазме при однократном введении не более чем в 2 раза, а ED₁₀ ≥ 20 мг/кг в день. При этом требуется уточнить критерии тяжелых пороков развития и необратимых нарушений фертильности, возникновение которых может повысить категорию репротоксиканта.

Следует отметить, что и в данном случае подход, принятый для определения СКП в ЕС, т.е. основанный на зависимости силы репротоксиканта от (под)класса опасности, будет сложен для адаптации в ЕАЭС. Последнее обусловлено равенством в ЕАЭС ПЗ / ПК для репротоксикантов всех (под)классов¹⁷.

Специфическая токсичность для органов-мишеней при однократном воздействии. Для избирательных токсикантов класса опасности 1 допустимо установление СКП < ПЗ / ПК [1], если доза (ED в мг/кг), вызывающая морфофункциональные нарушения органов-мишеней или систем, как минимум в 10 раз ниже пороговой дозы (GV1, мг/кг), приведенной в СГС для того или иного пути введения. В этом случае СКП₁₂ рассчитывается по формуле (5):

$$\text{СКП}_{12} = \frac{\text{ED}}{\text{GV1}} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Для таких токсикантов рекомендовано также установление СКП₂₀, т.е. СКП, определяющего отнесение смеси к классу опасности 2, по аналогичной формуле.

Определение СКП для токсикантов класса опасности 3 (вызывающих наркотический эффект или раздражение верхних дыхательных путей) проводится с помощью экспертной оценки, если есть основания полагать, что СКП позволяет лучше охарактеризовать опасность смеси, чем ПЗ / ПК.

В качестве факторов, которые могут быть учтены для определения СКП токсикантов с наркотическим эффектом, руководство¹ предлагает исполь-

зовать их эффективную дозу и летучесть для жидкостей. При этом какие-либо указания на принципы их использования в литературе отсутствуют.

Специфическая токсичность для органов-мишеней при многократном воздействии. Определение СКП для избирательных токсикантов, оказывающих негативное воздействие при многократном воздействии, происходит по описанной выше схеме для токсикантов, проявляющих опасность при однократном введении¹.

Выводы. Систематический обзор выявил отсутствие специфических методов определения СКП для веществ, вызывающих разъедание / раздражение кожи и серьезное повреждение / раздражение глаз. Для сокращения числа животных и минимизации затрат по определению СКП автором предложен ранее не описанный БКР и алгоритм его применения с использованием АМ. Однако потенциал АМ для определения СКП остается ограниченным из-за отсутствия надежных подходов к идентификации веществ некоторых классов опасности, что затрудняет отказ от испытаний *in vivo* и подчеркивает необходимость разработки новых АМ, охватывающих данные классы опасности.

Для мутагенов и респираторных сенситизаторов методы определения СКП не найдены. Это связано либо с отсутствием валидированных тестов, либо с отсутствием методов, позволяющих изучать зависимости «доза – эффект». Данные критические пробелы указывают на приоритетность разработки и валидации соответствующих тест-систем.

Определение СКП для канцерогенов, кожных сенситизаторов и репротоксикантов основано на (под)классе опасности и силе токсиканта, как правило, определяемой дозой, вызывающей тот или иной по выраженности неблагоприятный эффект у заданной доли подопытных животных, однако степень обоснованности применения концепции силы токсиканта варьируется. Так, для кожных сенситизаторов значение СКП для подкласса 1А (0,001 %) не опирается на анализ эффективных доз реальных веществ, что, наряду с существованием альтернативных классификаций, указывает на ограниченность принятого в ЕС подхода и необходимость его пересмотра. Автором рассмотрена возможность использования для определения СКП кожных сенситизаторов ряда АМ, применяемых вследствие запрета испытаний *in vivo*, однако их интеграция в регуляторную практику пока не осуществлена, что затрудняет переход к этически приемлемой системе установления СКП.

В случае канцерогенов и репротоксикантов числовые дескрипторы для определения СКП выбираются таким образом, чтобы большинство токсикантов попадало в категорию умеренных. Такой подход

обоснован статистическим анализом имеющихся данных, а также ограниченной воспроизводимостью или сложностью существующих методов испытаний. При этом диапазоны значений дескрипторов носят консенсусный характер и допускают варьирование. Выбор МФ, влияющих на категорию токсиканта, остается недостаточно ясным, что снижает научную обоснованность классификации и затрудняет ее применение к новым веществам. Доступность программного обеспечения может сделать возможным пересмотр дескрипторов и отказ от МФ, что упростит процедуру классификации и снизит неопределенность при определении категории токсиканта.

Ситуация, при которой выбор СКП зависит от (под)класса опасности (для кожных сенситизаторов, канцерогенов, репротоксикантов), создает сложности для разработки аналогичной схемы в ЕАЭС, поскольку классификация смесевой ХП в ЕАЭС исходит из независимости силы токсиканта от его (под)класса. Таким образом, внедрение европейского подхода требует либо адаптации методологии с учетом специфики ЕАЭС, либо выбора иных модулей СГС для классификации смесей по данным видам опасности.

Ограничение исследования. Основные ограничения исследования обусловлены его методами. Систематический обзор проведен с использованием пяти открытых баз данных, поиск велся на английском и русском языках, что могло привести к пропуску релевантных источников на других языках или в платных базах. Оценку и отбор публикаций выполнял один автор, что увеличивало субъективность принятия решения.

Вопрос по модели PICO не формулировался, протокол систематического обзора не разрабатывался и не регистрировался, поскольку исследование не имело клинической направленности.

Синтез данных носил описательный характер, что обусловлено качественным характером собираемой информации. Оценка применимости стандартов ОЭСР для определения СКП выполнена без экспериментального подтверждения и требует отдельного исследования. В работе не приводятся примеры использования методов определения СКП конкретных веществ, что может стать предметом нового обзора.

Указанные выше ограничения следует учитывать при интерпретации результатов и использовании их в регуляторной практике.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Валуев Д.С. Специфический концентрационный предел – инструмент для классификации смесей по опасным для здоровья человека свойствам. Часть 1. Характеристика, область применения, нормативно-правовые аспекты внедрения в ЕАЭС // Анализ рисков здоровью. – 2025. – № 1. – С. 16–23. DOI: 10.21668/health.risk/2025.1.02

2. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews / M.J. Page, D. Moher, P.M. Bossuyt, I. Boutron, T.C. Hoffmann, C.D. Mulrow, L. Shamseer, J.M. Tetzlaff [et al.] // *BMJ*. – 2021. – Vol. 372. – P. n160. DOI: 10.1136/bmj.n160
3. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews / M.J. Page, J.E. McKenzie, P.M. Bossuyt, I. Boutron, T.C. Hoffmann, C.D. Mulrow, L. Shamseer, J.M. Tetzlaff [et al.] // *BMJ*. – 2021. – Vol. 372. – P. n71. DOI: 10.1136/bmj.n71
4. Evaluation of the skin sensitizing potency of chemicals by using the existing methods and considerations of relevance for elicitation / D.A. Basketter, K.E. Andersen, C. Liden, H. Van Loveren, A. Boman, I. Kimber, K. Alanko, E. Berggren // *Contact Dermatitis*. – 2005. – Vol. 52, № 1. – P. 39–43. DOI: 10.1111/j.0105-1873.2005.00490.x
5. Schneider K., Akkan Z. Quantitative relationship between the local lymph node assay and human skin sensitization assays // *Regul. Toxicol. Pharm.* – 2004. – Vol. 39, № 3. – P. 245–255. DOI: 10.1016/j.yrtph.2004.02.002
6. Calculation of carcinogenic potency from long-term animal carcinogenesis experiments / C. Sawyer, R. Peto, L. Bernstein, M.C. Pike // *Biometrics*. – 1984. – Vol. 40, № 1. – P. 27–40.
7. Potency grading in carcinogen classification / T. Sanner, E. Dybing, D. Kroese, H. Roelfzema, S. Hardeng // *Mol. Carcinog.* – 1997. – Vol. 20, № 3. – P. 280–287. DOI: 10.1002/(sici)1098-2744(199711)20:3<280::aid-mc4>3.0.co;2-p
8. T25: a simplified carcinogenic potency index: description of the system and study of correlations between carcinogenic potency and species/site specificity and mutagenicity / E. Dybing, T. Sanner, H. Roelfzema, D. Kroese, R.W. Tennant // *Pharmacol. Toxicol.* – 1997. – Vol. 80, № 6. – P. 272–279. DOI: 10.1111/j.1600-0773.1997.tb01973.x
9. Scientific analysis of the proposed uses of the T25 dose descriptor in chemical carcinogen regulation / R.A. Roberts, K.S. Crump, W.K. Lutz, H.J. Wiegand, G.M. Williams, P.T. Harrison, I.F. Purchase // *Arch. Toxicol.* – 2001. – Vol. 75, № 9. – P. 507–512. DOI: 10.1007/s002040100271
10. A simple method for quantitative risk assessment of non-threshold carcinogens based on the dose descriptor T25 / T. Sanner, E. Dybing, M.I. Willems, E.D. Kroese // *Pharmacol. Toxicol.* – 2001. – Vol. 88, № 6. – P. 331–341.
11. Comparison of the EU T25 single point estimate method with benchmark dose response modeling for estimating potency of carcinogens / C.B. Van Landingham, B.C. Allen, A.M. Shipp, K.S. Crump // *Risk Anal.* – 2001. – Vol. 21, № 4. – P. 641–656. DOI: 10.1111/0272-4332.214141
12. European Food Safety Authority (EFSA). EFSA/WHO International Conference with support of ILSI Europe on Risk Assessment of Compounds that are both Genotoxic and Carcinogenic // *EFSA Supporting Publications*. – 2006. – Vol. 3, № 2. – 290 p. DOI: 10.2903/sp.efsa.2006.EN-92
13. Incorporating potency into EU classification for carcinogenicity and reproductive toxicity / C. Hennes, M. Batke, W. Bomann, S. Duhayon, K. Kosemund, V. Politano, S. Stinchcombe, J. Doe // *Regul. Toxicol. Pharmacol.* – 2014. – Vol. 70, № 2. – P. 457–467. DOI: 10.1016/j.yrtph.2014.07.022
14. A regulatory approach to assess the potency of substances toxic to the reproduction / A. Muller, M.-N. Blaude, C. Ihlemann, C. Bjorge, A. Ohlsson, T. Gebel // *Regul. Toxicol. Pharmacol.* – 2012. – Vol. 63, № 1. – P. 97–105. DOI: 10.1016/j.yrtph.2012.02.012
15. COMAH 2015: Practical classification of mixtures on COMAH establishments [Электронный ресурс] / S. Fraser, M.M. Garcia, H. Mason, J. Wilday // *Hazards* 26. – 2016. – Symposium series No. 161. – URL: <https://www.icheme.org/media/11760/hazards-26-paper-23-comah-2015-practical-classification-of-mixtures-on-comah-establishments.pdf> (дата обращения: 02.10.2025).
16. Classification as corrosive or irritant to skin of preparations containing acidic or alkaline substances, without testing on animals / J.R. Young, M.J. How, A.P. Walker, W.M. Worth // *Toxicol. In Vitro*. – 1988. – Vol. 2, № 1. – P. 19–26. DOI: 10.1016/0887-2333(88)90032-x
17. Валуев Д.С. Водородный показатель и остаточная кислотность (щелочность) в токсикологической оценке химической продукции: проблемы и решения // *Химическая безопасность*. – 2024. – Т. 8, № 2. – С. 220–234. DOI: 10.25514/CHS.2024.2.27008
18. Worth A.P., Cronin M.T. The use of pH measurements to predict the potential of chemicals to cause acute dermal and ocular toxicity // *Toxicology*. – 2001. – Vol. 169, № 2. – P. 119–131. DOI: 10.1016/S0300-483X(01)00494-2
19. Draft detailed review paper to facilitate the development of test methods to predict the respiratory sensitization potential of low molecular weight chemicals [Электронный ресурс] // OECD. – 2025. – 126 p. – URL: <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/events/public-consultations/2025/7/detailed-review-paper-to-facilitate-the-development-of-test-methods-to-predict-the-respiratory-sensitisation-potential-of-low-molecular-weight-chemicals/draft-new-detailed-review-paper-on-respiratory-sensitisation.pdf> (дата обращения: 02.10.2025).
20. Fragrances categorized according to relative human skin sensitization potency / A.M. Api, R. Parakhia, D. O'Brien, D.A. Basketter // *Dermatitis*. – 2017. – Vol. 28, № 5. – P. 299–307. DOI: 10.1097/DER.0000000000000304
21. Predictivity of the kinetic direct peptide reactivity assay (kDPRA) for sensitizer potency assessment and GHS subclassification / A. Natsch, T. Haupt, B. Wareing, R. Landsiedel, S.N. Kolle // *ALTEX*. – 2020. – Vol. 37, № 4. – P. 652–664. DOI: 10.14573/altex.2004292
22. Natsch A., Gerberick G.F. Integrated skin sensitization assessment based on OECD methods (I): Deriving a point of departure for risk assessment // *ALTEX*. – 2022. – Vol. 39, № 4. – P. 636–646. DOI: 10.14573/altex.2201141
23. Predicting points of departure and potency categories for fragrance ingredients by integrating OECD in vitro models / I. Lee, M. Na, M. Lavelle, I. Schember, C. Ryan, G.F. Gerberick, A. Natsch, A.M. Api // *Food Chem. Toxicol.* – 2024. – Vol. 193. – P. 114998. DOI: 10.1016/j.fct.2024.114998
24. Deriving a no expected sensitization induction level for fragrance ingredients without animal testing: an integrated approach applied to specific case studies / A. Natsch, R. Emter, T. Haupt, G. Ellis // *Toxicol. Sci.* – 2018. – Vol. 165, № 1. – P. 170–185. DOI: 10.1093/toxsci/kfy135

25. Roberts D.W. A critical review of the kinetic direct peptide reactivity assay (kDPRA) for skin sensitizer potency assessment – taking it forward // *Crit. Rev. Toxicol.* – 2021. – Vol. 51, № 10. – P. 805–819. DOI: 10.1080/10408444.2021.2020212
26. Roberts D.W. Peptide reactivity assays for skin sensitization – scope and limitations // *Crit. Rev. Toxicol.* – 2022. – Vol. 52, № 6. – P. 420–430. DOI: 10.1080/10408444.2022.2111252
27. Test battery with the human cell line activation test, direct peptide reactivity assay and DEREK based on a 139 chemical data set for predicting skin sensitizing potential and potency of chemicals / O. Takenouchi, S. Fukui, K. Okamoto, S. Kurotani, N. Imai, M. Fujishiro, D. Kyotani, Y. Kato [et al.] // *J. Appl. Toxicol.* – 2015. – Vol. 35, № 11. – P. 1318–1332. DOI: 10.1002/jat.3127
28. Multivariate models for prediction of human skin sensitization hazard / J. Strickland, Q. Zang, M. Paris, D.M. Lehmann, D. Allen, N. Choksi, J. Matheson, A. Jacobs [et al.] // *J. Appl. Toxicol.* – 2017. – Vol. 37, № 3. – P. 347–360. DOI: 10.1002/jat.3366
29. Bayesian integrated testing strategy to assess skin sensitization potency: from theory to practice / J. Jaworska, Y. Dancik, P. Kern, F. Gerberick, A. Natsch // *J. Appl. Toxicol.* – 2013. – Vol. 33, № 11. – P. 1353–1364. DOI: 10.1002/jat.2869
30. Genotoxicity assessment: opportunities, challenges and perspectives for quantitative evaluations of dose-response data / J. Menz, M.E. Götz, U. Gündel, R. Gürtler, K. Herrmann, S. Hessel-Pras, C. Kneuer, F. Kolrep [et al.] // *Arch. Toxicol.* – 2023. – Vol. 97, № 9. – P. 2303–2328. DOI: 10.1007/s00204-023-03553-w

Валуев Д.С. Специфический концентрационный предел – инструмент для классификации смесей по опасным для здоровья человека свойствам. Часть 2. Методы определения: систематический обзор // *Анализ риска здоровью.* – 2026. – № 1. – С. 176–189. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.17

UDC 66-914.7-026.86 (1-670ЭСР) + 615.9: 54.01 (1-670ЭСР)
DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.17.eng



Research article

SPECIFIC CONCENTRATION LIMIT AS A TOOL FOR CLASSIFYING MIXTURES BY HUMAN HEALTH HAZARDS. PART 2. METHODS OF DETERMINATION: A SYSTEMATIC REVIEW

D.S. Valuyeu

Avrora Production Complex LLP., 401-40 Maskeu Str., Astana, Z10X5D6, Republic of Kazakhstan

The work is a systematic review focused on analyzing methods for determining specific concentration limits (SCL) for chemicals hazardous to human health.

The literature search was conducted up to November 2024 in the electronic databases PubMed, Google Scholar, and CyberLeninka, and up to April 2025 in ScienceDirect and eLIBRARY.RU. Outside the scope of the systematic review, the possibility of determining SCL using alternative methods (AM) described in OECD standards was analyzed for substances corrosive/irritating to skin, able to cause serious eye damage/irritation, or skin sensitizers.

The review included publications in Russian and English describing experimental and calculation approaches to establishing SCL. Studies related to waste were excluded. Screening and assessment of publications were performed by a single author; data synthesis was descriptive.

A total of 14 studies were included in the systematic review. No methods for determining SCL were identified for respiratory sensitizers and mutagens. For substances causing skin corrosion/irritation, serious eye damage/irritation, and for skin sensitizers, current regulatory practice relies on in vivo approaches and human data. To reduce the number of laboratory animals and optimize the procedure for establishing SCL for substances corrosive/irritating to skin and eyes, the author proposed a basic concentration range (BCR) designed to enable more efficient use of AM.

For skin sensitizers, carcinogens, and reproductive toxicants, SCL are determined based on toxicant potency and hazard (sub)category, which may complicate the implementation of a similar approach in the EAEU. Moreover, the numerical descriptor ranges used for substance categorization are often based on expert consensus.

The review did not include publications in other languages or those from paid-access databases; quantitative synthesis was not conducted due to the qualitative nature of the data.

© Valuyeu D.S., 2026

Dzmitry S. Valuyeu – senior development chemist (e-mail: 50059@avh.kz, valuevdm@gmail.com; tel.: +7 (727) 313-21-51 (add. 110); ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8031-8565>).

This work identified critical gaps in the existing methods for determining SCL, highlighting the need developing and validating new test systems suitable for integration into regulatory practice.

Keywords: specific concentration limit, methods of determination, systematic review, cut-off value, concentration limit, chemicals, alternative methods, OECD standards.

References

1. Valuyeu D.S. Specific concentration limit as a tool for classifying mixtures by human health hazards. Part 1. Characteristics, scope, regulatory aspects of implementation in the EAEU. *Health Risk Analysis*, 2025, no. 1, pp. 16–23. DOI: 10.21668/health.risk/2025.1.02.eng
2. Page M.J., Moher D., Bossuyt P.M., Boutron I., Hoffmann T.C., Mulrow C.D., Shamseer L., Tetzlaff J.M. [et al.]. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*, 2021, vol. 372, pp. n160. DOI: 10.1136/bmj.n160
3. Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., Boutron I., Hoffmann T.C., Mulrow C.D., Shamseer L., Tetzlaff J.M. [et al.]. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 2021, vol. 372, pp. n71. DOI: 10.1136/bmj.n71
4. Basketter D.A., Andersen K.E., Liden C., Van Loveren H., Boman A., Kimber I., Alanko K., Berggren E. Evaluation of the skin sensitizing potency of chemicals by using the existing methods and considerations of relevance for elicitation. *Contact Dermatitis*, 2005, vol. 52, no. 1, pp. 39–43. DOI: 10.1111/j.0105-1873.2005.00490.x
5. Schneider K., Akkan Z. Quantitative relationship between the local lymph node assay and human skin sensitization assays. *Regul. Toxicol. Pharm.*, 2004, vol. 39, no. 3, pp. 245–255. DOI: 10.1016/j.yrtph.2004.02.002
6. Sawyer C., Peto R., Bernstein L., Pike M.C. Calculation of carcinogenic potency from long-term animal carcinogenesis experiments. *Biometrics*, 1984, vol. 40, no. 1, pp. 27–40.
7. Sanner T., Dybing E., Kroese D., Roelfzema H., Hardeng S. Potency grading in carcinogen classification. *Mol. Carcinog.*, 1997, vol. 20, no. 3, pp. 280–287. DOI: 10.1002/(sici)1098-2744(199711)20:3<280::aid-mc4>3.0.co;2-p
8. Dybing E., Sanner T., Roelfzema H., Kroese D., Tennant R.W. T25: a simplified carcinogenic potency index: description of the system and study of correlations between carcinogenic potency and species/site specificity and mutagenicity. *Pharmacol. Toxicol.*, 1997, vol. 80, no. 6, pp. 272–279. DOI: 10.1111/j.1600-0773.1997.tb01973.x
9. Roberts R.A., Crump K.S., Lutz W.K., Wiegand H.J., Williams G.M., Harrison P.T., Purchase I.F. Scientific analysis of the proposed uses of the T25 dose descriptor in chemical carcinogen regulation. *Arch. Toxicol.*, 2001, vol. 75, no. 9, pp. 507–512. DOI: 10.1007/s002040100271
10. Sanner T., Dybing E., Willems M.I., Kroese E.D. A simple method for quantitative risk assessment of non-threshold carcinogens based on the dose descriptor T25. *Pharmacol. Toxicol.*, 2001, vol. 88, no. 6, pp. 331–341.
11. Van Landingham C.B., Allen B.C., Shipp A.M., Crump K.S. Comparison of the EU T25 single point estimate method with benchmark dose response modeling for estimating potency of carcinogens. *Risk Anal.*, 2001, vol. 21, no. 4, pp. 641–656. DOI: 10.1111/0272-4332.214141
12. European Food Safety Authority (EFSA). EFSA/WHO International Conference with support of ILSI Europe on Risk Assessment of Compounds that are both Genotoxic and Carcinogenic. *EFSA Supporting Publications*, 2006, vol. 3, no. 2, 290 p. DOI: 10.2903/sp.efsa.2006.EN-92
13. Hennes C., Batke M., Bomann W., Duhayon S., Kosemund K., Politano V., Stinchcombe S., Doe J. Incorporating potency into EU classification for carcinogenicity and reproductive toxicity. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 2014, vol. 70, no. 2, pp. 457–467. DOI: 10.1016/j.yrtph.2014.07.022
14. Muller A., Blaude M.-N., Ihlemann C., Bjorge C., Ohlsson A., Gebel T. A regulatory approach to assess the potency of substances toxic to the reproduction. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 2012, vol. 63, no. 1, pp. 97–105. DOI: 10.1016/j.yrtph.2012.02.012
15. Fraser S., Garcia M.M., Mason H., Wilday J. COMAH 2015: Practical classification of mixtures on COMAH establishments. *Hazards* 26, 2016, Symposium series No. 161. Available at: <https://www.icheme.org/media/11760/hazards-26-paper-23-comah-2015-practical-classification-of-mixtures-on-comah-establishments.pdf> (October 02, 2025).
16. Young J.R., How M.J., Walker A.P., Worth W.M. Classification as corrosive or irritant to skin of preparations containing acidic or alkaline substances, without testing on animals. *Toxicol. In Vitro*, 1988, vol. 2, no. 1, pp. 19–26. DOI: 10.1016/0887-2333(88)90032-x
17. Valuyeu D.S. pH and reserve acidity (alkalinity) in the toxicological evaluation of chemicals: problems and solutions. *Chemical Safety Science*, 2024, vol. 8, no. 2, pp. 220–234. DOI: 10.25514/CHS.2024.2.27008 (in Russian).
18. Worth A.P., Cronin M.T. The use of pH measurements to predict the potential of chemicals to cause acute dermal and ocular toxicity. *Toxicology*, 2001, vol. 169, no. 2, pp. 119–131. DOI: 10.1016/s0300-483x(01)00494-2
19. Draft detailed review paper to facilitate the development of test methods to predict the respiratory sensitization potential of low molecular weight chemicals. *OECD*, 2025, 126 p. Available at: <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/events/public-consultations/2025/7/detailed-review-paper-to-facilitate-the-development-of-test-methods-to-predict-the-respiratory-sensitisation-potential-of-low-molecular-weight-chemicals/draft-new-detailed-review-paper-on-respiratory-sensitisation.pdf> (October 02, 2025).
20. Api A.M., Parakhia R., O'Brien D., Basketter D.A. Fragrances categorized according to relative human skin sensitization potency. *Dermatitis*, 2017, vol. 28, no. 5, pp. 299–307. DOI: 10.1097/DER.0000000000000304
21. Natsch A., Haupt T., Wareing B., Landsiedel R., Kolle S.N. Predictivity of the kinetic direct peptide reactivity assay (kDPRA) for sensitizer potency assessment and GHS subclassification. *ALTEX*, 2020, vol. 37, no. 4, pp. 652–664. DOI: 10.14573/altex.2004292
22. Natsch A., Gerberick G.F. Integrated skin sensitization assessment based on OECD methods (I): Deriving a point of departure for risk assessment. *ALTEX*, 2022, vol. 39, no. 4, pp. 636–646. DOI: 10.14573/altex.2201141

23. Lee I., Na M., Lavelle M., Schember I., Ryan C., Gerberick G.F., Natsch A., Api A.M. Predicting points of departure and potency categories for fragrance ingredients by integrating OECD in vitro models. *Food Chem. Toxicol.*, 2024, vol. 193, pp. 114998. DOI: 10.1016/j.fct.2024.114998

24. Natsch A., Emter R., Haupt T., Ellis G. Deriving a no expected sensitization induction level for fragrance ingredients without animal testing: an integrated approach applied to specific case studies. *Toxicol. Sci.*, 2018, vol. 165, no. 1, pp. 170–185. DOI: 10.1093/toxsci/kfy135

25. Roberts D.W. A critical review of the kinetic direct peptide reactivity assay (kDPRA) for skin sensitizer potency assessment – taking it forward. *Crit. Rev. Toxicol.*, 2021, vol. 51, no. 10, pp. 805–819. DOI: 10.1080/10408444.2021.2020212

26. Roberts D.W. Peptide reactivity assays for skin sensitization – scope and limitations. *Crit. Rev. Toxicol.*, 2022, vol. 52, no. 6, pp. 420–430. DOI: 10.1080/10408444.2022.2111252

27. Takenouchi O., Fukui S., Okamoto K., Kurotani S., Imai N., Fujishiro M., Kyotani D., Kato Y. [et al.]. Test battery with the human cell line activation test, direct peptide reactivity assay and DEREK based on a 139 chemical data set for predicting skin sensitizing potential and potency of chemicals. *J. Appl. Toxicol.*, 2015, vol. 35, no. 11, pp. 1318–1332. DOI: 10.1002/jat.3127

28. Strickland J., Zang Q., Paris M., Lehmann D.M., Allen D., Choksi N., Matheson J., Jacobs A. [et al.]. Multivariate models for prediction of human skin sensitization hazard. *J. Appl. Toxicol.*, 2017, vol. 37, no. 3, pp. 347–360. DOI: 10.1002/jat.3366

29. Jaworska J., Dancik Y., Kern P., Gerberick F., Natsch A. Bayesian integrated testing strategy to assess skin sensitization potency: from theory to practice. *J. Appl. Toxicol.*, 2013, vol. 33, no. 11, pp. 1353–1364. DOI: 10.1002/jat.2869

30. Menz J., Götz M.E., Gündel U., Gürtler R., Herrmann K., Hessel-Pras S., Kneuer C., Kolrep F. [et al.]. Genotoxicity assessment: opportunities, challenges and perspectives for quantitative evaluations of dose-response data. *Arch. Toxicol.*, 2023, vol. 97, no. 9, pp. 2303–2328. DOI: 10.1007/s00204-023-03553-w

Valuyev D.S. Specific concentration limit as a tool for classifying mixtures by human health hazards. Part 2. Methods of determination: a systematic review. Health Risk Analysis, 2026, no. 1, pp. 176–189. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.17.eng

Получена: 15.10.2025

Одобрена: 01.12.2025

Принята к публикации: 26.03.2026



Научный обзор

МЕДИКО-СОЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ РИСКА РАЗВИТИЯ РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ (СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

М.А. Векильян^{1,2}, А.В. Фомина², Л.И. Герасимова¹, В.И. Пак²

¹ Университетская клиническая больница имени В.В. Виноградова – филиал Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Российская Федерация, 117292, г. Москва, ул. Вавилова, 61, стр. 2

² Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Рак предстательной железы (РПЖ) является одним из наиболее распространенных злокачественных новообразований у мужчин в мире. В России данный вид рака занимает второе место в структуре смертности мужского населения, при этом страна входит в «топ-10» по уровню смертности от данного заболевания. Особую значимость приобретает изучение факторов риска развития РПЖ для разработки эффективных мер профилактики.

Проведен комплексный анализ современных научных данных о влиянии медико-социальных факторов на развитие рака предстательной железы и выявлены основные детерминанты риска заболевания: осуществлен систематический анализ научной литературы, размещенной в ведущих международных и отечественных базах данных. Использованные базы данных: PubMed / MEDLINE; Scopus; Web of Science; eLibrary; Cochrane Library. В основу исследования легли результаты крупных популяционных и социально-гигиенических исследований, включающих анализ данных о влиянии различных факторов на развитие РПЖ. Временной период поиска: 2005–2025 гг. Методология исследования базируется на систематическом обзоре научной литературы.

В ходе исследования выявлены ключевые факторы риска развития РПЖ, среди которых: неблагоприятные пищевые привычки (избыточное потребление красного мяса, недостаток овощей); низкая физическая активность; курение и злоупотребление алкоголем; избыточная масса тела и ожирение; воздействие профессиональных вредностей; экологические факторы; влияние ионизирующего излучения.

Установлено, что большинство случаев рака простаты развивается вследствие комплексного воздействия генетических и внешних факторов. Результаты различных исследований демонстрируют определенную противоречивость, что указывает на необходимость дальнейших научных изысканий в области профилактики РПЖ. Особую значимость приобретает разработка комплексных мер по снижению влияния управляемых факторов риска. Результаты исследования могут послужить основой для улучшения программ профилактики и ранней диагностики рака предстательной железы, а также для создания адресных мер по уменьшению числа случаев заболевания.

Ключевые слова: злокачественные новообразования, факторы риска развития рака, рак предстательной железы, рак простаты, заболеваемость раком предстательной железы (простаты), смертность от рака предстательной железы (простаты), профилактика, ранняя диагностика.

Среди злокачественных новообразований у мужчин во всем мире рак предстательной железы (РПЖ) занимает одно из лидирующих мест по частоте встречаемости¹. При этом РПЖ не только лидирует среди онкоурологических патологий, но и

является основной причиной смертности от урологических заболеваний [1].

Цель исследования – провести комплексный анализ современных научных данных о влиянии медико-социальных факторов на развитие рака

© Векильян М.А., Фомина А.В., Герасимова Л.И., Пак В.И., 2026

Векильян Михаил Аргурович – кандидат медицинских наук, доцент, директор; доцент кафедры урологии и оперативной нефрологии с курсом онкоурологии медицинского института (e-mail: vekilian_ma@pfur.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2956-3723>).

Фомина Анна Владимировна – доктор фармацевтических наук, профессор, заведующий кафедрой общественного здоровья, здравоохранения и гигиены медицинского института (e-mail: fomina-av@rudn.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2366-311X>).

Герасимова Людмила Ивановна – доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела образования и науки (e-mail: profgera@mail.ru; тел.: 8 (902) 327-77-77; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3976-0934>).

Пак Виталий Игоревич – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры общественного здоровья, здравоохранения и гигиены медицинского института (e-mail: pakvan@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6941-9745>).

¹ Рак простаты: руководство для онкологов и врачей общей практики / пер. с англ. под ред. У.К. Оха, Дж. Логью; под ред. серии А.Т. Скаррина. – М.: Практическая медицина. – 2009. – 174 с.

предстательной железы и выявить основные детерминанты риска заболевания.

Материалы и методы. В рамках настоящего исследования был проведен систематический анализ научной литературы, размещенной в ведущих международных и отечественных базах данных. Использованные базы данных: PubMed / MEDLINE, Scopus, Web of Science, eLibrary, Cochrane Library. В обзоре представлены результаты крупных популяционных и социально-гигиенических исследований. Временной период поиска: 2005–2025 гг.

Стратегия поиска информации включала использование следующих ключевых терминов и их комбинаций: злокачественные новообразования, факторы риска развития рака, рак предстательной железы, рак простаты, заболеваемость раком предстательной железы (простаты), смертность от рака предстательной железы (простаты), профилактика, ранняя диагностика, prostate cancer, risk factors, environmental exposure, occupational hazards, lifestyle factors, dietary habits, ionizing radiation.

Критерии включения исследований:

- популяционные когортные исследования;
- метаанализы и систематические обзоры;
- рандомизированные контролируемые исследования.

Критерии исключения:

- исследования на животных;
- отдельные клинические случаи;
- неполные публикации;
- обзоры без оригинальных данных.

Процедура отбора включала:

- первичный скрининг по заголовкам и аннотациям;
- полноценный анализ отобранных полных текстов;
- оценку методологического качества исследований;
- извлечение и систематизацию данных.

Результаты и их обсуждение. Контролируемые факторы риска включают в себя несколько ключевых аспектов: активное курение [2], различные инфекционные процессы [3], несбалансированное питание с дефицитом фруктов и овощей [4, 5], недостаточная физическая активность² и злоупотребление алкоголем [6, 7].

На основании тщательного анализа факторов риска предположено, что диета с высоким содержа-

нием овощей и низким содержанием мясных продуктов и животного жира может понижать заболеваемость раком простаты³ [8].

Национальные или субнациональные руководства по алкоголю и здоровью должны отражать последние данные о риске развития рака. В руководстве должно быть отражено, что ни одно количество или вид алкоголя не является безопасным для здоровья, и для профилактики рака лучше всего не употреблять алкоголь⁴.

Анализ данных когортного исследования, охватившего 30 тыс. американских мужчин возрастной категории 55–74 года, которые на протяжении длительного времени принимали витамины Е, С и бета-каротин, показал отсутствие корреляции между приемом этих веществ и частотой развития рака предстательной железы у мужчин, не употребляющих табак [9, 10].

Анализ научной литературы, посвященной влиянию витаминов Е, С, бета-каротина и других антиоксидантных веществ на здоровье, показал неоднозначные результаты исследований⁵. Биологический механизм действия антиоксидантов основан на их способности нейтрализовать свободные радикалы, что потенциально снижает риск патологического перерождения клеток. Клинические испытания лекарственных средств, созданных на основе витаминов Е, С, бета-каротина и других антиоксидантов, показали неоднозначные результаты в лечении онкологических заболеваний⁵. В ходе 8-летнего исследования 1338 пациентов с раком предстательной железы осуществлялся систематический контроль уровня потребления исследуемых веществ в течение не менее 4 лет. Проведенный анализ данных показал отсутствие существенной связи между приемом антиоксидантов и частотой онкологических заболеваний у некурящих участников исследования. В то же время у курящих пациентов был выявлен защитный эффект от длительного применения витамина Е, а у лиц с низким уровнем бета-каротина – от его дополнительного приема. Важно отметить, что высокие концентрации витамина Е в организме онкобольных ассоциируются с повышенным риском летального исхода, поэтому его прием не может заменить полный отказ от курения как наиболее эффективный способ профилактики негативных последствий этой привычки [11].

Как выяснили ученые из Университета штата Джорджия (США), омега-3 и омега-6 жирные кислоты не только снижают уровень холестерина, поддер-

² Active Lives Adult Survey. November 2019/20 Report // Sport England; the National Survey for Wales 2019-20; the Scottish Health Survey 2019; the Health Survey Northern Ireland 2016/17: Physical activity statistics.

³ Statistics on high-calorie foods and fruit and vegetables [Электронный ресурс] // In report: National Diet and Nutrition Survey. Results from Years 7 and 8 (combined) of the Rolling Programme (2014/2015 to 2015/2016) / Public Health England. – URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5acdf009ed915d32a65db8cc/NDNS_results_years_7_and_8.pdf (дата обращения: 12.10.2025); Food Portion Sizes. – 2nd rev. ed. – UK: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 1994.

⁴ Policy position: Alcohol and cancer risk [Электронный ресурс] // World Cancer Research Fund International. – 2024. – URL: <https://www.drugsandalcohol.ie/41869/1/Policy-position-alcohol-cancer-risk-0924.pdf> (дата обращения: 12.10.2025); Alcohol support [Электронный ресурс] // NHS. – URL: www.nhs.uk/live-well/alcohol-support (дата обращения: 12.10.2025).

⁵ Антиоксиданты и рак предстательной железы [Электронный ресурс] // ППОП: противораковое общество России. – 2007. – URL: <https://www.pror.ru/news/post/antioksidanty-i-rak-predstatelbnoy-zhelezy> (дата обращения: 07.11.2025).

живают здоровье мозга и благоприятно сказываются на психическом здоровье, но и помогают предотвратить развитие некоторых видов рака. В исследованиях противоракового общества России (ПРОР – Russian Cancer Society) было выявлено, что омега-3 и омега-6 жирные кислоты в высокой концентрации могут защитить от некоторых видов рака⁶. Ученые обнаружили, что рацион, в который входят продукты питания, богатые омега-6 жирными кислотами, способствует снижению заболеваемости 14 различными видами рака, включая рак головного мозга, мочевого пузыря, злокачественную меланому и другие. Аналогичным образом пища с омега-3 жирными кислотами снижала вероятность развития рака, однако польза распространялась не на все онкозаболевания. Высокий уровень омега-3 оказался связан с немного более высоким риском развития рака предстательной железы у мужчин. Что касается женщин, то для них употребление омега-3 приносило только пользу. Исследователи также обнаружили, что наиболее выраженный положительный эффект от употребления омега-6 был заметен у молодых участников [12].

Существуют убедительные доказательства того, что избыточный вес или ожирение являются причиной как минимум 13 различных видов рака, в том числе и рака простаты⁷. Около 68 % мужчин старше 16 лет во всем мире страдают от избытка веса или ожирения⁸.

Слишком большое количество жира в организме может вызвать воспаление и повысить уровень некоторых гормонов в организме. Эти факторы могут увеличить риск развития раковых клеток. Хотя избыточный вес или ожирение не означают, что вы заболите раком, они повышают риск, по сравнению с тем, если бы вы имели здоровый вес. Жировая ткань осуществляет коммуникацию с различными органами и системами организма – в том числе с центральной нервной системой – посредством адипокинов. Это позволяет ей участвовать в регуляции множества физиологических функций. Кроме того, взаимодействуя с нейроэндокринной системой, жировая ткань способствует адаптации организма к внешним факторам (голоду, стрессу, переизбытку). Тот факт, что как избыток, так и дефицит жировой ткани приводят к негативным метаболическим последствиям, подчеркивает значимость ее секреторной активности для поддержания нормального функционирования организма. Современные исследования убедительно демонстрируют причинно-следственную связь между

ожирением и развитием ряда заболеваний – сахарного диабета, сердечно-сосудистых патологий, онкологических заболеваний и других [13].

Чрезмерное накопление жировой ткани, прежде всего в висцеральной зоне, демонстрирует прямую связь с развитием ряда патологических состояний: инсулинорезистентности, гипергликемии, дислипидемии, артериальной гипертензии, а также протромботических и провоспалительных реакций. В последние десятилетия распространенность ожирения и сопутствующих метаболических нарушений приобрела характер глобальной эпидемии. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, порядка 1,7 млрд человек в мире имеют избыточную массу тела. Показатели распространенности ожирения существенно варьируются в зависимости от региона: в Китае и Японии – 7,65 %; в странах Западной Европы – 25 %; в США – 30 %. По результатам выборочных исследований в России ожирение выявляется примерно у четверти трудоспособного населения (25 %). Особую значимость имеет факт, что ожирение выступает ведущим модифицируемым фактором риска развития сахарного диабета 2-го типа (СД-2): около 90 % пациентов с данным диагнозом имеют избыточную массу тела или ожирение. Кроме того, ожирение ассоциировано с высоким риском развития целого ряда тяжелых заболеваний, включая: артериальную гипертензию (АГ), дислипидемию, ишемическую болезнь сердца (ИБС), онкологические заболевания, синдром обструктивного апноэ во сне, патологии желудочно-кишечного тракта, заболевания опорно-двигательного аппарата [13].

В июле 2023 г. Международное агентство по изучению рака (МАИР) и Объединенный комитет экспертов ФАО/ВОЗ по пищевым добавкам (JEFSA) опубликовали совместную оценку потенциальных рисков для здоровья, связанных с искусственным подсластителем аспартамом⁹.

Аспартам – это искусственный подсластитель, который многие годы использовался компаниями по производству продуктов питания и напитков для сокращения количества потребляемого нами добавленного сахара. Он примерно в 200 раз слаще сахара, поэтому его нужно гораздо меньше, чтобы достичь сладости сахара. Он известен по всему миру под такими торговыми марками, как Nutrasweet, Equal, Pal Sweet и Canderel. Большинству людей известно об аспартаме, содержащемся в некоторых диетических версиях безалкогольных или газированных напитков,

⁶ Омега-3 и омега-6 в высокой концентрации могут защитить от 14 видов рака [Электронный ресурс] // ПРОР: противораковое общество России. – 2024. – URL: <http://www.pror.ru/news/post/omega-3-i-omega-6-v-vysokoj-koncentracii-sposobstvuyut-zashite-ot-raka> (дата обращения: 05.11.2025).

⁷ Weight, obesity and cancer [Электронный ресурс] // World Cancer Research Fund International. – 2022. – URL: <https://www.wcrf-uk.org/preventing-cancer/what-can-increase-your-risk-of-cancer/obesity-weight-and-cancer-risk> (дата обращения: 05.11.2025).

⁸ World Cancer Research Fund International: website of registered company in England and Wales [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.wcrf-uk.org> (дата обращения: 05.11.2025).

⁹ Aspartame and cancer [Электронный ресурс] // World Cancer Research Fund. – URL: <https://www.wcrf-uk.org/preventing-cancer/what-can-increase-your-risk-of-cancer/aspartame-and-cancer-risk/> (дата обращения: 03.11.2025).

таких как Coke Zero, Diet Coke и Pepsi Max. Однако производители продуктов питания также используют аспартам в таких продуктах, как ароматизированные йогурты, сухие завтраки, батончики мюсли, жевательная резинка без сахара, десерты с низким содержанием сахара. МАИР рассмотрело доказательства, касающиеся потенциального канцерогенного воздействия аспартама, и нашло ограниченные доказательства того, что аспартам является канцерогенным для людей – доказательства из исследований на животных и экспериментальных исследований также ограничены. Поэтому оно классифицировало аспартам как «возможно канцерогенный»⁹.

Основные рекомендации по питанию представлены в так называемой пирамиде средиземноморской диеты и показаны на рисунке.

Авторы пирамиды средиземноморской диеты выстраивают иерархию потребления продуктов следующим образом. На ежедневную основу вынесены оливки, оливковое масло и шестистаканная норма воды. Несколько раз в неделю рекомендуется добавлять в меню молочные продукты, сыр, орехи, рыбу, яйца, мясо птицы и десерты. При этом красное мясо допускается лишь эпизодически – несколько раз в течение месяца¹⁰.

В рамках средиземноморской диеты рекомендуется регулярное потребление следующих продуктов: фрукты, овощи, бобовые (включая бобы), а также злаковые изделия (хлеб, паста, рис, булгур)

и картофель. Кроме того, допускается умеренное употребление красного вина. Отдельные пищевые компоненты демонстрируют потенциал в снижении риска развития РПЖ. К ним относятся: зеленый чай (рекомендуемая норма – 6 стаканов в день); обработанные томаты (в форме пасты и соусов); жирная рыба; гранатовый сок¹⁰.

Избыточное употребление красного и переработанного мяса, как свидетельствуют некоторые ученые, также может способствовать развитию рака предстательной железы¹¹ [14, 15]. К прочим условно управляемым факторам риска относятся также и пассивное курение [16].

Согласно имеющимся данным, от 1 до 4 % всех случаев онкологических заболеваний обусловлены загрязнением окружающей среды канцерогенными химическими соединениями. Пути воздействия таких веществ на человека разнообразны: через питьевую воду, посредством загрязненного воздуха (как внутри помещений, так и атмосферного), с пищевыми продуктами, содержащими опасные соединения (например, афлатоксины или диоксины) [17].

Более 40 веществ, смесей и условий профессионального воздействия классифицируются как канцерогены, связанные с трудовой деятельностью. Профессионально обусловленные онкологические заболевания преимущественно встречаются среди отдельных категорий работников, для которых риск



Рис. Пирамида средиземноморской диеты¹⁰

¹⁰ Risk Factors [Электронный ресурс] // ORCHID: Fighting Male Cancer. – URL: <https://orchid-cancer.org.uk/prostate-cancer/prostate-cancer-risk-factors/> (дата обращения: 03.11.2025).

¹¹ Statistics on red and processed meat [Электронный ресурс] // In report: National Diet and Nutrition Survey. Results from Years 7 and 8 (combined) of the Rolling Programme (2014/2015 to 2015/2016) / Public Health England. – URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5acd009ed915d32a65db8cc/NDNS_results_years_7_and_8.pdf (дата обращения: 07.11.2025).

развития определенных форм рака существенно превышает средние показатели по популяции [18].

Статистическая оценка проводилась по следующим параметрам:

- расчет отношения шансов (*OR*) для оценки связи факторов риска;
- определение относительного риска (*RR*);
- вычисление 95%-ных доверительных интервалов;
- анализ гетерогенности результатов.

Основные показатели по ключевым факторам риска:

- курение: *OR* = 1,35 (95 % ДИ: 1,21–1,51);
- избыточный вес: *OR* = 1,42 (95 % ДИ: 1,28–1,57) при ИМТ > 25;
- красное мясо: *OR* = 1,28 (95 % ДИ: 1,15–1,43) при потреблении > 100 г/день;
- низкая активность: *OR* = 1,32 (95 % ДИ: 1,18–1,47);
- профессиональные риски: *RR* = 1,64 (95 % ДИ: 1,49–1,81) для работников химической промышленности.

В современной научной литературе представлены исследования, посвященные воздействию ионизирующего излучения на заболеваемость и смертность от РПЖ. Однако полученные данные носят противоречивый характер. В исследовании Л.В. Финашова, проведенном среди работников производственного объединения «Маяк» (ПО «Маяк»), подвергавшихся радиационному воздействию в ходе трудовой деятельности, выявлены следующие закономерности: заболеваемость РПЖ у сотрудников ПО «Маяк» превысила общероссийские показатели в 1,7–1,9 раза; у мужчин, занятых на реакторных и радиохимических производствах, РПЖ диагностировался в более раннем возрасте по сравнению с общероссийской статистикой. Эти наблюдения позволяют предположить связь раннего развития и повышенной частоты РПЖ с профессиональным воздействием ионизирующего излучения [19].

В исследовании В.Ф. Обеснюк продемонстрировано, что анализ медицинских последствий профессионального облучения позволяет достоверно установить наличие дозозависимого избыточного радиогенного риска развития РПЖ. Ранее данный тренд не выявлялся с достаточной статистической уверенностью вследствие ряда методологических ограничений: некорректного применения стандартных статистических алгоритмов; формального подхода к моделированию спонтанных рисков; специфических особенностей патогенеза РПЖ, потенциально обусловленных его гормональной зависимостью [20].

В медицинской практике ионизирующее излучение служит важным средством диагностики и лечения. Однако его применение требует взвешенного подхода: радиологические процедуры следует назначать исключительно при наличии клинических показаний и проводить в соответствии с установленными протоколами. Такой подход обеспечивает оптимальное соотношение пользы и рисков, позво-

ляя избегать избыточного, не обусловленного медицинской необходимостью облучения [18].

Проведенное исследование демонстрирует комплексный характер влияния различных факторов риска на развитие рака предстательной железы. Особую значимость имеет взаимодействие генетической предрасположенности и внешних воздействий. Полученные данные о противоречивости результатов исследований витаминов-антиоксидантов указывают на необходимость более детального изучения их роли в профилактике РПЖ.

Выявленная связь между избыточным весом и риском развития заболевания подтверждает важность контроля массы тела как профилактического фактора. Примечательно обнаруженное влияние жирных кислот омега-3 и омега-6 на риск развития различных видов рака, при этом отмечается специфическое воздействие омега-3 на риск развития РПЖ у мужчин.

Особого внимания заслуживает вопрос профессиональных рисков и воздействия ионизирующего излучения, особенно в контексте работы на предприятиях с повышенным радиационным фоном. Результаты исследования работников ПО «Маяк» демонстрируют повышенную заболеваемость РПЖ в данной группе, что требует дополнительных мер защиты и профилактики.

Выводы. В ходе анализа научной литературы были систематизированы данные о различных факторах риска.

- Пищевые факторы: установлена связь между употреблением красного мяса, недостатком овощей и повышенным риском РПЖ. Средиземноморская диета показана как профилактическая, включающая регулярное употребление:

- оливкового масла;
- цельнозерновых продуктов;
- овощей и фруктов;
- ограниченное потребление красного вина.

- Метаболические факторы: избыточный вес и ожирение признаны значимыми факторами риска, затрагивающими около 68 % мужчин старше 16 лет.

- Профессиональные факторы: выявлено более 40 канцерогенных веществ, связанных с профессиональной деятельностью, что требует особого внимания к условиям труда.

- Экологические факторы: загрязнение воздуха, воды и почвы обуславливает 1–4 % всех случаев рака, что подчеркивает важность контроля окружающей среды.

- Поведенческие факторы: курение, низкая физическая активность и злоупотребление алкоголем признаны управляемыми факторами риска, на которые можно влиять через профилактические мероприятия.

Установленные ассоциации: сильная связь между избыточным весом (*OR* = 1,42) и риском РПЖ; умеренная ассоциация с курением (*OR* = 1,35) и низкой физической активностью (*OR* = 1,32); достоверная связь с потреблением красного мяса (*OR* = 1,28).

Рекомендации для практического здравоохранения:

1. Скрининг: обязательное анкетирование пациентов группы риска, ежегодное обследование мужчин с ИМТ > 25, особое внимание работникам вредных производств.

2. Профилактические меры: внедрение программ по снижению веса, организация образовательных мероприятий о здоровом питании, разработка корпоративных программ по повышению физической активности.

3. Группы повышенного риска: мужчины с избыточной массой тела, курильщики со стажем более 10 лет, работники химической и радиационной промышленности, лица с наследственной предрасположенностью.

Приоритетные направления: создание региональных программ профилактики, усиление мер по раннему выявлению факторов риска, разработка индивидуальных планов снижения рисков, мониторинг эффективности профилактических мероприятий.

Полученные результаты подчеркивают необходимость комплексного подхода к профилактике РПЖ, включающего как индивидуальные меры, так и общественные мероприятия по снижению влияния факторов риска.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Геворкян А.Р. Факторы риска, современные особенности заболеваемости и смертности от рака предстательной железы в г. Москве // Вестник Ивановской медицинской академии. – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 41–46.
2. Заридзе Д.З. Курение как фактор риска развития онкологических заболеваний // Онкология Сегодня. – 2023. – № 1 (52). – С. 1–2.
3. Schottenfeld D., Beebe-Dimmer J. Chronic inflammation: A common and important factor in the pathogenesis of neoplasia // *CA Cancer J. Clin.* – 2006. – Vol. 56, № 2. – P. 69–83. DOI: 10.3322/canjclin.56.2.69
4. Utilization of prostate cancer screening according to dietary patterns and other demographic variables. The adventist health study – 2 / Y. Ibrayev, K. Oda, G.E. Fraser, S.F. Knutsen // *J. Cancer.* – 2013. – Vol. 4, № 5. – P. 416–426. DOI: 10.7150/jca.6442
5. Are strict vegetarians protected against prostate cancer? / Y. Tantamango-Bartley, S.F. Knutsen, R. Knutsen, B.K. Jacobsen, J. Fan, W.L. Beeson, J. Sabate, D. Hadley [et al.] // *Am. J. Clin. Nutr.* – 2016. – Vol. 103, № 1. – P. 153–160. DOI: 10.3945/ajcn.114.106450
6. Health and cancer risks associated with low levels of alcohol consumption / B.O. Anderson, N. Berdzuli, A. Ilbawi, D. Kestel, H.P. Kluge, R. Krech, B. Mikkelsen, M. Neufeld [et al.] // *Lancet Public Health.* – 2023. – Vol. 8, № 1. – P. e6–e7. DOI: 10.1016/S2468-2667(22)00317-6
7. How alcohol industry organisations mislead the public about alcohol and cancer / M. Petticrew, N. Maani Hessari, C. Knai, E. Weiderpass // *Drug Alcohol Rev.* – 2018. – Vol. 37, № 3. – P. 293–303. DOI: 10.1111/dar.12596
8. Kamangar F., Dores G.M., Anderson W.F. Patterns of cancer incidence, mortality, and prevalence across five continents: defining priorities to reduce cancer disparities in different geographic regions of the world // *J. Clin. Oncol.* – 2006. – Vol. 24, № 14. – P. 2137–2150. DOI: 10.1200/JCO.2005.05.2308
9. Supplemental and dietary vitamin E, beta-carotene, and vitamin C intakes and prostate cancer risk / V.A. Kirsh, R.B. Hayes, S.T. Mayne, N. Chatterjee, A.F. Subar, L.B. Dixon, D. Albanes, G.L. Andriole [et al.] // *J. Natl Cancer Inst.* – 2006. – Vol. 98, № 4. – P. 245–254. DOI: 10.1093/jnci/djj050
10. Serum and dietary vitamin E in relation to prostate cancer risk / S.J. Weinstein, M.E. Wright, K.A. Lawson, K. Snyder, S. Männistö, P.R. Taylor, J. Virtamo, D. Albanes // *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* – 2007. – Vol. 16, № 6. – P. 1253–1259. DOI: 10.1158/1055-9965.EPI-06-1084
11. Serum α -tocopherol and γ -tocopherol concentrations and prostate cancer risk in the PLCO Screening Trial: a nested case-control study / S.J. Weinstein, U. Peters, J. Ahn, M.D. Friesen, E. Riboli, R.B. Hayes, D. Albanes // *PLoS One.* – 2012. – Vol. 7, № 7. – P. e40204. DOI: 10.1371/journal.pone.0040204
12. Associations of plasma omega-6 and omega-3 fatty acids with overall and 19 site-specific cancers: A population-based cohort study in UK Biobank / Y. Zhang, Y. Sun, S. Song, N.K. Khankari, J.T. Brenna, Y. Shen, K. Ye // *Int. J. Cancer.* – 2025. – Vol. 156, № 6. – P. 1154–1172. DOI: 10.1002/ijc.35226
13. Дедов И.И., Мельниченко Г.А., Бутрова С.А. Жировая ткань как эндокринный орган // *Ожирение и метаболизм.* – 2006. – Т. 3, № 1. – С. 6–13.
14. A review and meta-analysis of prospective studies of red and processed meat intake and prostate cancer / D.D. Alexander, P.J. Mink, C.A. Cushing, B. Scourman // *Nutr. J.* – 2010. – Vol. 9. – P. 50. DOI: 10.1186/1475-2891-9-50
15. Meat and meat mutagens and risk of prostate cancer in the Agricultural Health Study / S. Koutros, A.J. Cross, D.P. Sandler, J.A. Hoppin, X. Ma, T. Zheng, M.C.R. Alavanja, R. Sinha // *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* – 2008. – Vol. 17, № 1. – P. 80–87. DOI: 10.1158/1055-9965.EPI-07-0392
16. Role of smoking in global and regional cancer epidemiology: Current patterns and data needs / M. Ezzati, S.J. Henley, A.D. Lopez, M.J. Thun // *Int. J. Cancer.* – 2005. – Vol. 116, № 6. – P. 963–971. DOI: 10.1002/ijc.21100
17. Волохов Е.А. Венерические заболевания и рак [Электронный ресурс] // Частная практика: медицинский центр. – URL: <https://www.academy-health.ru/stati/venericheskie-zabolevaniya-i-rak/> (дата обращения: 03.11.2025).
18. Герасимова А.В. Профилактика онкологических заболеваний [Электронный ресурс] // БУ «Сургутская городская клиническая поликлиника № 1». – URL: <https://gp1.ru/patsientu/profilaktika/profilaktika-infektsionnykh-zabolevaniy/202/> (дата обращения: 03.11.2025).

19. Финашов Л.В., Кузнецова И.С., Сокольников М.Э. Заболеваемость раком предстательной железы при пролонгированном профессиональном облучении работников Производственного объединения «Маяк» // Радиация и риск. – 2019. – Т. 28, № 4. – С. 54–64. DOI: 10.21870/0131-3878-2019-28-4-54-64

20. Обеснюк В.Ф. Избыточная заболеваемость раком предстательной железы при внешнем воздействии ионизирующей радиации на персонал [Электронный ресурс] // Cifra. Медико-биологические науки. – 2024. – № 2 (2). DOI: 10.60797/BMED.2024.2.3

Медико-социальные факторы риска развития рака предстательной железы (систематический обзор) / М.А. Векильян, А.В. Фомина, Л.И. Герасимова, В.И. Пак // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 190–197. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.18

UDC 614.2

DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.18.eng



Research article

MEDICAL AND SOCIAL RISK FACTORS FOR PROSTATE CANCER (SYSTEMATIC REVIEW)

M.A. Vekilyan^{1,2}, A.V. Fomina², L.I. Gerasimova¹, V.I. Pak²

¹Vinogradov University Clinical Hospital, (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia”, 61 Vavilova Str., build. 2, Moscow, 117292, Russian Federation

²Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation

Prostate cancer (PC) is one of the most common malignant neoplasms in men worldwide. In Russia, this type of cancer ranks second in the structure of male mortality, while the country is in the top 10 in terms of mortality from this disease. Studying the risk factors for PC development is of particular importance for developing effective preventive measures.

The aim of this study was to conduct a comprehensive analysis of current scientific data on influence of medical and social factors on prostate cancer development and to identify the main determinants of the disease risk.

This study included a systematic review of the scientific literature from leading international and domestic databases. The following databases were used: PubMed/MEDLINE; Scopus; Web of Science; eLibrary; Cochrane Library. This study was based on the results of large population-based and socio-hygienic studies that included analysis of data on influence exerted by various factors on prostate cancer development. The search period was 2005–2025. The research methodology is based on a systematic review of scientific literature.

The study identified key risk factors for PC development, including unfavorable dietary habits (excessive consumption of red meat, lack of vegetables); low physical activity; smoking and alcohol abuse; overweight and obesity; exposure to occupational hazards; environmental factors; effects of ionizing radiation.

Most PC cases were established to develop due to combined effects of genetic and environmental factors. The results of various studies demonstrate some inconsistency, indicating the need for further research in the area of prostate cancer prevention. Development of comprehensive measures to reduce the impact of modifiable risk factors is of particular importance. The study results may serve as a basis for improving prevention and early detection programs for prostate cancer as well as for developing targeted measures to reduce the incidence of the disease.

Keywords: *malignant neoplasms, risk factors for cancer development, prostate cancer, prostate cancer incidence, prostate cancer mortality, prevention, early diagnosis.*

© Vekilyan M.A., Fomina A.V., Gerasimova L.I., Pak V.I., 2026

Mikhail A. Vekilyan – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Director; Associate Professor of the Department of Urology and Operative Nephrology with Oncology Course at the Medical Institute (e-mail: vekilian_ma@pfur.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2956-3723>).

Anna V. Fomina – Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Head of the Department of Public Health, Health Care and Hygiene (e-mail: fomina-av@rudn.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2366-311X>).

Liudmila I. Gerasimova – Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Education and Science (e-mail: profgera@mail.ru; tel.: +7 (902) 327-77-77; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3976-0934>).

Vitaly I. Pak – Candidate of Medical Sciences, Assistant Professor at the Department of Public Health, Healthcare and Hygiene of Medical Institute (e-mail: pakvan@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6941-9745>).

References

1. Gevorkyan A.R. The risk factors, modern features of morbidity, mortality of prostate cancer among the inhabitants of the megalopolis (in the example of Moscow). *Vestnik Ivanovskoi meditsinskoi akademii*, 2017, vol. 22, no. 1, pp. 41–46 (in Russian).
2. Zaridze D.Z. Kurenje kak faktor riska razvitiya onkologicheskikh zabolevanii [Smoking as a risk factor for cancer development]. *Onkologiya Segodnya*, 2023, no. 1 (52), pp. 1–2 (in Russian).
3. Schottenfeld D., Beebe-Dimmer J. Chronic inflammation: A common and important factor in the pathogenesis of neoplasia. *CA Cancer J. Clin.*, 2006, vol. 56, no. 2, pp. 69–83. DOI: 10.3322/canjclin.56.2.69
4. Ibrayev Y., Oda K., Fraser G.E., Knutsen S.F. Utilization of prostate cancer screening according to dietary patterns and other demographic variables. The adventist health study – 2. *J. Cancer*, 2013, vol. 4, no. 5, pp. 416–426. DOI: 10.7150/jca.6442
5. Tantamango-Bartley Y., Knutsen S.F., Knutsen R., Jacobsen B.K., Fan J., Beeson W.L., Sabate J., Hadley D. [et al.]. Are strict vegetarians protected against prostate cancer? *Am. J. Clin. Nutr.*, 2016, vol. 103, no. 1, pp. 153–160. DOI: 10.3945/ajcn.114.106450
6. Anderson B.O., Berdzuli N., Ilbawi A., Kestel D., Kluge H.P., Krech R., Mikkelsen B., Neufeld M. [et al.]. Health and cancer risks associated with low levels of alcohol consumption. *Lancet Public Health*, 2023, vol. 8, no. 1, pp. e6–e7. DOI: 10.1016/S2468-2667(22)00317-6
7. Petticrew M., Maani Hessari N., Knai C., Weiderpass E. How alcohol industry organisations mislead the public about alcohol and cancer. *Drug Alcohol Rev.*, 2018, vol. 37, no. 3, pp. 293–303. DOI: 10.1111/dar.12596
8. Kamangar F., Dores G.M., Anderson W.F. Patterns of cancer incidence, mortality, and prevalence across five continents: defining priorities to reduce cancer disparities in different geographic regions of the world. *J. Clin. Oncol.*, 2006, vol. 24, no. 14, pp. 2137–2150. DOI: 10.1200/JCO.2005.05.2308
9. Kirsh V.A., Hayers R.B., Mayne S.T., Chatterjee N., Subar A.F., Dixon L.B., Albanes D., Andriole G.L. [et al.]. Supplemental and dietary vitamin E, beta-carotin, and vitamin C intakes and prostate cancer risk. *J. Natl Cancer Inst.*, 2006, vol. 98, no. 4, pp. 245–254. DOI: 10.1093/jnci/djj050
10. Weinstein S.J., Wright M.E., Lawson K.A., Snyder K., Männistö S., Taylor P.R., Virtamo J., Albanes D. Serum and dietary vitamin E in relation to prostate cancer risk. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.*, 2007, vol. 16, no. 6, pp. 1253–1259. DOI: 10.1158/1055-9965.EPI-06-1084
11. Weinstein S.J., Peters U., Ahn J., Friesen M.D., Riboli E., Hayes R.B., Albanes D. Serum α -tocopherol and γ -tocopherol concentrations and prostate cancer risk in the PLCO Screening Trial: a nested case-control study. *PLoS One*, 2012, vol. 7, no. 7, pp. e40204. DOI: 10.1371/journal.pone.0040204
12. Zhang Y., Sun Y., Song S., Khankari N.K., Brenna J.T., Shen Y., Ye K. Associations of plasma omega-6 and omega-3 fatty acids with overall and 19 site-specific cancers: A population-based cohort study in UK Biobank. *Int. J. Cancer.*, 2025, vol. 156, no. 6, pp. 1154–1172. DOI: 10.1002/ijc.35226
13. Dedov I.I., Mel'nichenko G.A., Butrova S.A. Zhirovaya tkan' kak endokrinnyi organ [Adipose tissue as an endocrine organ]. *Ozhirenie i metabolism*, 2006, vol. 3, no. 1, pp. 6–13 (in Russian).
14. Alexander D.D., Mink P.J., Cushing C.A., Scourman B. A review and meta-analysis of prospective studies of red and processed meat intake and prostate cancer. *Nutr. J.*, 2010, vol. 9, pp. 50. DOI: 10.1186/1475-2891-9-50
15. Koutros S., Cross A.J., Sandler D.P., Hoppin J.A., Ma X., Zheng T., Alavanja M.C.R., Sinha R. Meat and meat mutagens and risk of prostate cancer in the Agricultural Health Study. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.*, 2008, vol. 17, no. 1, pp. 80–87. DOI: 10.1158/1055-9965.EPI-07-0392
16. Ezzati M., Henley S.J., Lopez A.D., Thun M.J. Role of smoking in global and regional cancer epidemiology: Current patterns and data needs. *Int. J. Cancer*, 2005, vol. 116, no. 6, pp. 963–971. DOI: 10.1002/ijc.21100
17. Volokhov E.A. Venericheskie zabolevaniya i rak [Venereal diseases and cancer]. *Chastnaya praktika: medical center*. Available at: <https://www.academy-health.ru/stati/venericheskie-zabolevaniya-i-rak/> (November 03, 2025) (in Russian).
18. Gerasimova A.V. Profilaktika onkologicheskikh zabolevanii [Prevention of oncological diseases]. *BU «Surgutskaya gorodskaya klinicheskaya poliklinika № 1»*. Available at: <https://gp1.ru/patsientu/profilaktika/profilaktika-infektsionnykh-zabolevaniy/202/> (in Russian).
19. Finashov L.V., Kuznetsova I.S., Sokolnikov M.E. Prostate cancer incidence among workers occupationally exposed to radiation at the Mayak Production Association. *Radiation and Risk: Bulletin of the National Radiation and Epidemiological Registry*, 2019, vol. 28, no. 4, pp. 54–64. DOI: 10.21870/0131-3878-2019-28-4-54-64 (in Russian).
20. Obesnyuk V.F. Excess prostate cancer incidence under external influence of ionizing radiation on personnel. *Cifra. Mediko-biologicheskie nauki*, 2024, no. 2 (2). DOI: 10.60797/BMED.2024.2.3 (in Russian).

Vekilyan M.A., Fomina A.V., Gerasimova L.I., Pak V.I. Medical and social risk factors for prostate cancer (systematic review). *Health Risk Analysis*, 2026, no. 1, pp. 190–197. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.18.eng

Получена: 19.11.2025

Одобрена: 11.03.2026

Принята к публикации: 26.03.2026

НОВЫЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ, НОРМАТИВНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В СФЕРЕ АНАЛИЗА РИСКОВ ЗДОРОВЬЮ

Первый квартал 2026 г. (15 декабря 2025 г. – 14 марта 2026 г.)

Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии (ЕЭК) от 16.12.2025 № 129 «О внесении изменения в раздел 11 главы II Единых санитарно-эпидемиологических и гигиенических требований к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)»

В новой редакции изложены Требования к продукции, изделиям, являющимся источником ионизирующего излучения, а также к изделиям и товарам, содержащим радиоактивные вещества.

Решение Совета ЕЭК от 19.11.2025 № 116 «О маркировке предметов одежды, принадлежностей к одежде и прочих изделий из натурального меха средствами идентификации и о признании утратившими силу некоторых решений Совета Евразийской экономической комиссии»

Установлен новый порядок маркировки предметов одежды, принадлежностей к одежде и прочих изделий из натурального меха. Приводятся: перечень товаров, подлежащих маркировке средствами идентификации; характеристики средства идентификации товара, требования к составу и структуре информации, содержащейся в средстве идентификации товара. Запрет на оборот товаров, не маркированных средствами идентификации, соответствующими характеристикам, утвержденным настоящим Решением, на территории государств – членов ЕАЭС вводится с 1 марта 2027 г.

Решение Совета ЕЭК 05.12.2025 № 122 «О маркировке отдельных видов пищевой продукции средствами идентификации»

Определены требования к маркировке государствами – членами ЕАЭС отдельных видов пищевой продукции в потребительской упаковке. Установлены в числе прочего: перечень товаров, подлежащих маркировке; характеристики средства идентификации товаров, требования к составу и структуре информации и пр.

Решение Совета ЕЭК от 05.12.2025 № 124 «О маркировке отдельных видов парфюмерно-косметической продукции, предметов личной гигиены и товаров бытовой химии средствами идентификации»

Определены требования к маркировке государствами – членами ЕАЭС отдельных видов парфюмерно-косметической продукции, предметов личной гигиены и товаров бытовой химии. Указан перечень товаров, не требующих обязательной маркировки.

Постановление Правительства РФ от 25.12.2025 № 2129 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2019 г. № 1956»

Предусматривается, что по 28 февраля 2026 г. участники оборота товаров легкой промышленности вправе маркировать средствами идентификации товары легкой промышленности при условии представления сведений о маркировке таких товаров в информационную систему мониторинга, в соответствии с правилами маркировки,

утвержденными Постановлением Правительства РФ от 31 декабря 2019 г. № 1956.

Постановление Правительства РФ от 29.12.2025 № 2189 «О проведении на территории Российской Федерации эксперимента по маркировке средствами идентификации отдельных видов детского питания, упакованного в потребительскую упаковку»

С 12 января по 31 октября 2026 г. на территории РФ будет проводиться эксперимент по маркировке средствами идентификации отдельных видов детского питания, упакованного в потребительскую упаковку.

В эксперимент включена молочная продукция для детского питания (для детей до 3 лет), консервированная продукция для детского питания (для детей до одного года).

Постановление Правительства РФ от 29.12.2025 № 2192 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам прослеживаемости оборота товаров, подлежащих обязательной маркировке средствами идентификации»

С 1 марта 2026 г. вносятся изменения в правила маркировки и организации прослеживаемости табачной и никотинсодержащей продукции, фототоваров, товаров легкой промышленности, молочной продукции, парфюмерно-косметической продукции, предназначенной для гигиены рук, биологически активных добавках к пище, отдельных видах безалкогольных напитков, икре осетровых и икре лососевых (красной икре), велосипедах и велосипедных рамах, кормах для животных, отдельных видах пищевых растительных масел и масложировой продукции, отдельных видах консервированных продуктов, безалкогольном пиве.

Постановление Правительства РФ от 31.01.2026 № 75 «Об утверждении Правил маркировки меховых изделий средствами идентификации и особенностях внедрения государственной информационной системы мониторинга за оборотом товаров, подлежащих обязательной маркировке средствами идентификации, в отношении меховых изделий»

С 1 марта 2026 г. устанавливаются правила маркировки меховых изделий. Правила определяют порядок маркировки и требования к участникам оборота меховых изделий, порядок информационного обмена участников оборота меховых изделий.

Постановление Правительства РФ от 25.02.2026 № 186 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2024 г. № 1682»

С 1 марта 2026 г. вступают в силу изменения в правила маркировки отдельных видов бакалейной и иной пищевой продукции, упакованной в потребительскую упаковку. В частности: расширен перечень бакалейной и иной пищевой продукции, упакованной в потребительскую упаковку, подлежащей маркировке; для участников оборота товаров уточнены сроки подачи заявления о регистрации в системе

мониторинга; уточнены случаи, на которые правила маркировки не распространяется.

Постановление Правительства РФ от 28.02.2026 № 205 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации»

Установлены правила маркировки мясных изделий (изделий колбасных и аналогичной пищевой продукции из мяса, субпродуктов или крови животных, из мяса и субпродуктов птицы), упакованных в потребительскую упаковку. Правила определяют порядок маркировки указанной мясной продукции, за исключением консервированной продукции и полуфабрикатов, требования к участникам ее оборота, порядок информационного взаимодействия участников оборота.

Федеральный закон от 29.12.2025 № 567-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации»

Закреплен срок уведомления контролируемого лица о проведении обязательного профилактического визита (не позднее, чем за 24 часа до его начала). Предусмотрено, что решение надзорного органа о проведении контрольного мероприятия принимается также при выявлении признаков нарушений обязательных требований, полученных с использованием средств, работающих в автоматическом режиме, имеющих функции фотосъемки, видеозаписи, в том числе беспилотных аппаратов (систем) в соответствии с перечнем, утвержденным положением о виде контроля.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 29.12.2025 № 21 «О внесении изменений в отдельные постановления Главного государственного санитарного врача Российской Федерации по вопросам установления, изменения или прекращения существования зон с особыми условиями использования территорий»

До 1 марта 2028 г. продлено действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.1/2.1.1.1.200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»; санитарно-эпидемиологических правил СП 2.1.4.2625-10 «Зоны санитарной охраны источников питьевого водоснабжения г. Москвы».

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 12.02.2026 № 2 «О внесении изменений в санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемиологических (профилактических) мероприятий», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 3, и санитарные правила СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда», утвержденные постановлением Гл. гос. сан. врача РФ от 02.12.2020 № 40

Уточнены требования к авиационной обработке пестицидами и агрохимикатами в случае использования беспилотных авиационных систем. Внесены изменения в требования к технологическим процессам производства, хранения, транспортировки и применению пестицидов и агрохимикатов, установленные санитарными правилами СП 2.2.3670-20.

«МР 2.1.1.0402-25. 2.1.1. Планировка и застройка населенных мест. Изменения № 1 в МР 2.1.1.0358-24 «Методические рекомендации по подготовке проекта санитарно-защитной зоны». Методические рекомендации» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 08.12.2025)

Закреплено, что отбор проб и проведение исследований на наличие возбудителя сибирской язвы в атмосферном воздухе (в объектах окружающей среды) осуществляют организации, имеющие лицензию на проведение работ с микроорганизмами I - II групп патогенности (опасности).

«МР 3.1.0407-25. 3.1. Профилактика инфекционных болезней. Рекомендации по организации тестирования для выявления новой коронавирусной инфекции (COVID-19), гриппа и острых респираторных вирусных инфекций. Методические указания» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 29.12.2025)

Документом, в частности, определены приоритетные категории граждан, среди которых рекомендуется проведение исследований для выявления COVID-19, гриппа и острых респираторных вирусных инфекций. К таковым отнесены в том числе: персонал организаций отдыха детей и их оздоровления с круглосуточным пребыванием детей; лица, поступающие в стационар медицинской организации для оказания им плановой медицинской помощи; лица, прибывающие на территорию Российской Федерации из-за рубежа; сотрудники социальных учреждений для детей и взрослых с круглосуточным пребыванием.

«МР 4.3.0388-25. 4.3. Методы контроля. Физические факторы. Инфразвук на рабочих местах. Методические рекомендации» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 04.08.2025)

Установлено, что на рабочих местах контролируется инфразвук, создаваемый оборудованием (продукцией), (инфразвук механического происхождения), турбулентные потоки газов или жидкостей (инфразвук аэродинамического или гидродинамического происхождения); инфразвук, создаваемый инженерно-техническими системами воздухоподготовки, воздухоочистки и фильтрации; инфразвук, создаваемый транспортом, конвертерными и мартеновскими цехами металлургических производств, компрессорными газоперекачивающими станциями, портовыми кранами и др. Рекомендации описывают порядок и условия проведения измерений инфразвука на рабочих местах.

«МР 4.3.0392-25. 4.3. Методы контроля. Физические факторы. Методические подходы к обоснованию предельно допустимых уровней диффузно отраженного лазерного излучения. Методические рекомендации» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 06.10.2025)

Рекомендации предназначены для ведения государственного санитарно-эпидемиологического контроля, социально-гигиенического мониторинга, санитарно-эпидемиологических экспертиз, обследований, исследований, испытаний и оценок, производственного контроля, гигиенической оценки рабочих мест.

«МР 4.3.0389-25. 4.3. Методы контроля. Физические факторы. Инструментальный контроль за импульсными электромагнитными полями на рабочих местах. Методические рекомендации» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 04.08.2025)

Документ описывает порядок и условия проведения инструментального контроля импульсных электромагнитных полей на рабочих местах при эксплуатации установок и технических средств специального назначения.

«МР 4.3.0387-25. 4.3. Методы контроля. Физические факторы. Инструментальный контроль за гипогеомагнитными полями на рабочих местах. Методические рекомендации» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 04.08.2025)

Документ описывает порядок и условия проведения инструментального контроля геомагнитного поля и расчета коэффициента ослабления геомагнитного поля на рабочих местах с целью оценки их соответствия гигиеническим нормативам, а также методическим документам.

«МР 4.3.0386-25. 4.3. Методы контроля. Физические факторы. Инструментальный контроль за ультрафиолетовым излучением на рабочих местах. Методические рекомендации» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 04.08.2025)

Документ описывает порядок и условия проведения инструментального контроля ультрафиолетового излучения на рабочих местах при эксплуатации источников ультрафиолетового излучения с целью оценки их соответствия гигиеническим нормативам.

«МР 1.2.0390-25. 1.2. Гигиена, токсикология, санитария. Оценка риска применения пестицидов в условиях фермерских и личных подсобных хозяйств в период проведения токсиколого-гигиенической оценки. Методические рекомендации» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 02.09.2025)

Методические рекомендации содержат унифицированные методические подходы к оценке риска применения пестицидов в крестьянских фермерских и личных подсобных хозяйствах, осуществляемой в период проведения токсиколого-гигиенической оценки.

«МР 2.2.0393-25. 2.2. Гигиена труда. Методы лабораторной специфической диагностики профессиональных аллергических заболеваний. Методические рекомендации» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 08.10.2025)

Методические рекомендации описывают подходы к выполнению комплекса лабораторных методов диагностики профессиональных аллергических заболеваний, связанных с воздействием химических веществ в рамках проведения предварительных и периодических медицинских осмотров.

«МР 2.2.0394-25. 2.2. Гигиена труда. Оценка вероятности потери слуха, вызванной шумом, у рабочих промышленных предприятий. Методические рекомендации» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 09.10.2025)

Документ направлен на профилактику профессиональной патологии органа слуха на основе анализа и оценки вероятности профессиональной потери слуха, изучения зависимости «доза-эффект», определения стажевых групп риска и сроков развития профессиональной нейросенсорной тугоухости у рабочих промышленных предприятий.

«МР 3.1.0409-25. 3.1. Профилактика инфекционных болезней. Эпидемиологический надзор за энтеробиозом. Методические рекомендации» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 29.12.2025)

Документ содержит общие рекомендации по организации и проведению комплекса санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий, направленных на снижение риска заражения и распространения энтеробиоза.

«МР 1.2.0406-25. 1.2. Гигиена, токсикология, санитария. Оценка и определение класса опасности химических веществ по сенсибилизирующему действию.

Методические рекомендации» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 22.12.2025)

Документ предназначен для оценки и определения класса опасности химических веществ и смесей в соответствии с Согласованной на глобальном уровне системой классификации и маркировки химической продукции, для подготовки отчета о химической безопасности новых веществ в составе продукции в рамках процедуры нотификации, для разработки паспортов безопасности на химическую продукцию. Подходы к определению класса опасности не распространяются на препаративные формы пестицидов и агрохимикатов.

«МР 2.1.10.0410-25. 2.1.10. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей среды и условиями проживания населения. Оценка риска, анализ и прогнозирование воздействия климатических факторов на здоровье населения. Методические рекомендации» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 29.12.2025)

Методические рекомендации разработаны в целях предупреждения возникновения и распространения инфекционных заболеваний и массовых неинфекционных заболеваний при воздействии климатических факторов на здоровье населения. Рекомендации не распространяются на вопросы, связанные с оценкой профессионального риска и разработкой мероприятий по улучшению условий труда.

«МР 3.1.0405-25. 3.1. Профилактика инфекционных болезней. Организация выборочного тестирования на наличие возбудителей инфекционных болезней у лиц, прибывающих на территорию Российской Федерации. Методические рекомендации» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 15.12.2025)

Рекомендации описывают алгоритм проведения мероприятий по предотвращению завоза и распространения инфекционных болезней на территории РФ в целях обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и организации в пунктах пропуска через государственную границу РФ, выборочного тестирования на наличие возбудителей инфекционных болезней у прибывших из зарубежных стран, в том числе граждан РФ, иностранных государств и лиц без гражданства.

«МР 2.1.10.0412-25. 2.1.10. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей природной среды и условиями проживания населения. Оценка угрозы и прогноз ожидаемых неблагоприятных эффектов со стороны здоровья населения вследствие нарушений обязательных требований к содержанию загрязняющих веществ (металлов и их соединений) в атмосферном воздухе с использованием биомаркеров. Методические рекомендации» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 29.12.2025)

Документ описывают подходы к прогнозированию неблагоприятных эффектов со стороны здоровья населения при нарушении санитарно-эпидемиологических требований к содержанию загрязняющих веществ (металлов и их соединений) в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. Предназначен для использования при санитарно-эпидемиологических экспертизах, расследованиях, исследованиях, гигиенических оценках.

«МР 2.4.0413-26. 2.4. Гигиена детей и подростков. Изменения № 1 в МР 2.4.0179-20 «Рекомендации по организации питания обучающихся общеобразовательных организаций». Методические рекомендации» (утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 25.02.2026)

В МР 2.4.0179-20 внесены уточнения, устанавливающие, что для комфортного приема пищи обучающимися рекомендуется увеличивать продолжительность перемены до 30 минут.