

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN (print) 2308-1155
ISSN (online) 2308-1163
ISSN (eng-online): 2542-2308

Анализ риска здоровью

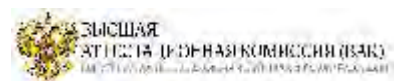
Health Risk
Analysis



journal.fcrisk.ru

2021 / № 1

CYBERLENINKA



РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

Science Index



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

Издание представлено в следующих международных и российских базах данных: Scopus, CyberLeninka, CrossRef, Ulrich's Periodicals Directory, Directory of Open Access Journals (DOAJ), WorldCat, Open Academic Journal Index, AcademicKeys, Google Scholar, CiteFactor, ResearchBib, ERIH Plus, Universal Impact Factor, ВИНТИ, BASE, ICMJE (International committee of Medical journal editors), Electronic Journals Library, EuroPub, Издательство «Лань», Все науки и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Номер издается при финансовой поддержке Министерства образования и науки Пермского края.

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

Адрес учредителя и редакции:

614045, Пермский край, г. Пермь,
ул. Монастырская (Орджоникидзе), 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 – А.А. Нижегородова
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 30.03.2021.

Формат 90×60/8.

Усл. печ. л. 25,0.

Заказ № 58/2020.

Тираж 500 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

С.Л. Авалиани – д.м.н., проф. (г. Москва)

А.Б. Бакиров – акад. АН РБ, д.м.н., проф. (г. Уфа)

Е.Н. Беляев – чл.-корр. РАН, д.м.н., проф. (г. Москва)

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

И.В. Брагина – д.м.н. (г. Москва)

Р.В. Бузинов – д.м.н. (г. Архангельск)

И.В. Бухтияров – чл.-корр. 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)

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

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

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

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

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

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

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

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

А.Я. Первалов – д.м.н., проф. (г. Пермь)

Ю.П. Пивоваров – акад. РАН, д.м.н., проф. (г. Москва)

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

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

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

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

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. Савельев – д.м.н., проф. (г. Липецк)

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

В.Ф. Спирин – д.м.н., проф. (г. Саратов)

А. Тсакалоф – проф. (Ларисса, Греция)

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

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

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

Л.М. Шевчук – к.м.н. (г. Минск, Белоруссия)

Н.В. Шестопалов – д.м.н., проф. (г. Москва)

П.З. Шур – д.м.н. (г. Пермь)

1

Январь 2021 март

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА: АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ

А.Ю. Попова, С.В. Кузьмин, Н.В. Зайцева, И.В. Май
ПРИОРИТЕТЫ НАУЧНОЙ ПОДДЕРЖКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
В ОБЛАСТИ ГИГИЕНЫ: ПОИСК ОТВЕТОВ
НА ИЗВЕСТНЫЕ УГРОЗЫ И НОВЫЕ ВЫЗОВЫ

Н.Е. Пиль, В.М. Чигвинцев
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ
БАКТЕРИАЛЬНОЙ ПОПУЛЯЦИИ В ЛЕГКИХ ЧЕЛОВЕКА

В.Л. Соколовский, Г.Б. Фурман, Д.А. Полянская, Е.Г. Фурман
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЭПИДЕМИИ COVID-19

ОЦЕНКА РИСКА В ГИГИЕНЕ

*С.М. Киселев, Н.К. Шандала, Т.Н. Лащенко, Ю.Н. Зозуль,
В.В. Шлыгин, Т.И. Гимадова, А.Н. Малахова*
АНАЛИЗ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАДИАЦИОННЫХ
И ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В РАЙОНЕ
РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ

*Н.В. Зайцева, М.А. Землянова,
Ю.В. Кольдибекова, Н.И. Булатова*
ВЫЯВЛЕНИЕ ОМИК-МАРКЕРОВ
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКА РАЗВИТИЯ
НЕГАТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ У ДЕТЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ
СОДЕРЖАНИЕМ МЕДИ И НИКЕЛЯ В КРОВИ

*О.Г. Богданова, О.А. Молчанова,
И.Ю. Тармаева, Н.В. Ефимова*
ОЦЕНКА И КЛАССИФИКАЦИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ
ПО УРОВНЮ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ, СВЯЗАННОГО
С ХИМИЧЕСКОЙ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ
КОНТАМИНАЦИЕЙ

А. Фесеа, А.К. Чаубей, А. Абраха
КОНЦЕНТРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОВОЩАХ
С ИРРИГАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ
СТОЧНЫЕ ВОДЫ, И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ РИСК
ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ

*П.З. Шур, Н.В. Зайцева, В.А. Фокин,
Д.А. Кирьянов, А.А. Хасанова*
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ
ПЕРСОНАЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА
ЗДОРОВЬЮ, ОБУСЛОВЛЕННОГО БОЛЕЗНЯМИ,
СВЯЗАННЫМИ С РАБОТОЙ, НА ПРОТЯЖЕНИИ
ВСЕГО ПЕРИОДА ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*И.В. Бухтияров, О.И. Юшкова, М. Ходжиев,
А.В. Капустина, А.Ю. Форверт*
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ
В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ КЛАССИФИКАЦИИ
НАПРЯЖЕННОСТИ ТРУДА ДЛЯ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА

Курния Ардиансыях Акбар
ГИПЕРТОНИЯ УГОЛЬНЫХ РАБОЧИХ В ИНДОНЕЗИИ,
СВЯЗАННАЯ С РОДИТЕЛЬСКОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ

PREVENTIVE HEALTHCARE: TOPICAL ISSUES OF HEALTH RISK ANALYSIS

4 *A.Yu. Popova, S.V. Kuzmin, N.V. Zaitseva, I.V. May*
PRIORITIES IN SCIENTIFIC SUPPORT PROVIDED
FOR HYGIENIC ACTIVITIES ACCOMPLISHED
BY A SANITARY AND EPIDEMIOLOGIC SERVICE:
HOW TO FACE KNOWN THREATS AND NEW
CHNALLANGES

15 *N.E. Pil, V.M. Chigvintsev*
NUMERIC MODELING OF BACTERIA
POPULATION EVOLUTION IN HUMAN LUNGS

23 *V.L. Sokolovsky, G.B. Furman,
D.A. Polyanskaya, E.G. Furman*
SPATIO-TEMPORAL MODELING OF COVID-19
EPIDEMIC

RISK ASSESSMENT IN HYGIENE

38 *S.M. Kiselev, N.K. Shandala, T.N. Lashchenova,
Yu.N. Zozul, V.V. Shlygin, T.I. Gimadova, A.N. Malakhova*
HEALTH RISK ANALYSIS AS PER RADIATION
AND CHEMICAL FACTORS IN A ZONE INFLUENCED
BY A NUCLEAR LEGACY OBJECT

48 *N.V. Zaitseva, M.A. Zemlyanova,
Yu.V. Koldibekova, N.I. Bulatova*
OMIC MARKERS IDENTIFICATION FOR PREDICTING
RISKS OF NEGATIVE EFFECTS IN CHILDREN
WITH ELEVATED COPPER AND NICKEL CONTENTS
IN BLOOD

57 *O.G. Bogdanova, O.A. Molchanova,
I.Yu. Tarmaeva, N.V. Efimova*
ASSESSMENT AND CLASSIFICATION OF FOOD
PRODUCTS AS PER HEALTH RISKS CAUSED
BY CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL
CONTAMINATION

68 *A. Feseha, A.K. Chaubey, A. Abraha*
HEAVY METAL CONCENTRATION IN VEGETABLES
AND THEIR POTENTIAL RISK FOR HUMAN HEALTH

82 *P.Z. Shur, N.V. Zaitseva, V.A. Fokin,
D.A. Kiryanov, A.A. Khasanova*
METHODICAL APPROACHES TO ASSESSING
INDIVIDUAL OCCUPAITONL HEALTH RISK
CAUSED BY WORK-RELATED DISEASES DURING
THE WHOLE EMPLOYMENT PERIOD

90 *I.V. Bukhtiyarov, O.I. Yushkova, M. Khodzhiev,
A.V. Kapustina, A.Yu. Forverts*
PHYSIOLOGICAL CRITERIA FOR IMPROVING
LABOR INTENSITY CLASSIFICATION USED
IN OCCUPATIONAL RISKS ASSESSMENT

100 *Kurnia Ardiansyah Akbar*
HYPERTENSION AMONG COAL MINING WORKERS
ASSOCIATED WITH PARENTAL HYPERTENSION
IN INDONESIA

ОЦЕНКА РИСКА В ЭПИДЕМИОЛОГИИ

С.А. Игловский, В.В. Кряучюнас
СИБИРЕЯЗВЕННЫЕ ЗАХОРОНЕНИЯ –
ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ УГРОЗА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ
КРИОЛИТОЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

*Б.А. Ревич, Д.А. Шапошников, С.Р. Раичич,
С.А. Сабурова, Е.Г. Симонова*
ЗОНИРОВАНИЕ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РАЙОНОВ
РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ
РАЗРУШЕНИЯ СКОТОМОГИЛЬНИКОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ
ДЕГРАДАЦИИ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ РИСКА

Ю.И. Черняк
АССОЦИАЦИЯ ПОЛИМОРФИЗМОВ *HSPA1B*, *S100B*
И *TNF-α* ГЕНОВ С РИСКОМ РАЗВИТИЯ ХРОНИЧЕСКОЙ
РТУТНОЙ ИНТОКСИКАЦИИ

*А.В. Шабалдин, А.В. Цепоккина, О.В. Долгих,
Е.В. Шабалдина, А.В. Понасенко*
СОЧЕТАНИЕ АЛЛЕЛЕЙ HLA-DRB1 КАК УСЛОВИЕ
РЕАЛИЗАЦИИ РИСКА ФОРМИРОВАНИЯ
СПОРАДИЧЕСКИХ ВРОЖДЕННЫХ ПОРОКОВ СЕРДЦА
И ВРОЖДЕННЫХ ПОРОКОВ РАЗВИТИЯ ПЛОДА
БЕЗ ХРОМОСОМНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

ОЦЕНКА РИСКА В ОРГАНИЗАЦИИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

О.В. Митрохин, Н.А. Ермакова, Е.В. Белова
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ
РИСКА ЗДОРОВЬЮ В УСЛОВИЯХ САМОИЗОЛЯЦИИ

*Е.А. Шашина, Т.С. Исютина-Федоткова,
В.В. Макарова, О.А. Груздева, О.В. Митрохин*
ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ
ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ КАК МЕР СНИЖЕНИЯ
РИСКА НАРУШЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ ВО ВРЕМЯ
ПАНДЕМИИ COVID-19

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ

П.Ю. Петрова, А.Д. Ага, Е.С. Трапезникова, Е.В. Буданова
СОСТАВ КИШЕЧНОЙ МИКРОБИОТЫ КАК ФАКТОР
РИСКА РАЗВИТИЯ ОЖИРЕНИЯ У ДЕТЕЙ

*В.А. Логинова, Ю.Н. Каськов, Е.А. Жидкова, К.Г. Гуревич,
Ю.Л. Смертина, О.А. Плетникова*
РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-
АССОЦИИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАБОТНИКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА: ОПЫТ РОССИИ И ДРУГИХ СТРАН

В.Ф. Спиринов, А.М. Старшов
К НЕКОТОРЫМ ПРОБЛЕМАМ ХРОНИЧЕСКОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА
НА ОРГАНИЗМ РАБОТАЮЩИХ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

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

HEALTH RISK ANALYSIS IN EPIDEMIOLOGY

108 *S.A. Iglovsky, V.V. Kriauciunas*
ANTHRAX CATTLE BURIALS AS A POTENTIAL
THREAT CAUSED BY CHANGES IN CRYOLITE
ZONES IN THE NORTHERN EUROPEAN PART
OF RUSSIA

115 *B.A. Revich, D.A. Shaposhnikov, S.R. Raichich,
S.A. Saburova, E.G. Simonova*
CREATING ZONES IN ADMINISTRATIVE DISTRICTS
LOCATED IN THE RUSSIAN ARCTIC REGION
SPECIFIC AS PER THREATS OF CATTLE BURIALS
DECAY DUE TO PERMAFROST DEGRADATION

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

126 *Yu.I. Chernyak*
ASSOCIATION BETWEEN *HSPA1B*, *S100B*,
AND *TNF-α* GENE POLYMORPHISMS AND RISKS
OF CHRONIC MERCURY POISONING

133 *A.V. Shabaldin, A.V. Tsepokina, O.V. Dolgikh,
E.V. Shabaldina, A.V. Ponasenko*
COMBINATION OF HLA-DRB1 ALLELES
AS A FACTOR CAUSING RISKS OF SPORADIC
CONGENITAL HEART DEFECTS AND CONGENITAL
MALFORMATIONS WITHOUT CHROMOSOME
DISEASES

RISK ASSESSMENT IN PUBLIC HEALTHCARE

143 *O.V. Mitrokhin, N.A. Ermakova, E.V. Belova*
THEORETICAL GROUNDS FOR ASSESSING HEALTH
RISKS FACTORS CAUSED BY SELF-ISOLATION

151 *E.A. Shashina, T.S. Isiutina-Fedotkova,
V.V. Makarova, O.A. Gruzdeva, O.V. Mitrokhin*
APPROACHES TO ANALYZING EFFICIENCY
OF RESPIRATORY PROTECTIVE EQUIPMENT
AS A WAY TO REDUCE HEALTH RISKS DURING
COVID-19 PANDEMIC

ANALYTICAL REVIEWS

159 *P.Yu. Petrova, A.D. Aga, E.S. Trapeznikova, E.V. Budanova*
GUT MICROBIOTA AS RISK FACTOR CAUSING
OBESITY IN CHILDREN

173 *V.A. Loginova, Yu.N. Kas'kov, E.A. Zhidkova,
K.G. Gurevich, Yu.L. Smertina, O.A. Pletnikova*
REGULATION OF WORK-RELATED
AND OCCUPATIONAL IMPACTS ON WORKERS
EMPLOYED AT RAILROADS: EXPERIENCE GAINED
IN RUSSIA AND OTHER COUNTRIES

186 *V.F. Spirin, A.M. Starshov*
ON CERTAIN ISSUES RELATED TO CHRONIC
EXPOSURE TO OCCUPATIONAL NOISE
AND IMPACTS EXERTED BY IT ON WORKERS'
BODIES (LITERATURE REVIEW)

197 *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 001.89; 613
DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.01

Читать
онлайн



Научная статья

ПРИОРИТЕТЫ НАУЧНОЙ ПОДДЕРЖКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ В ОБЛАСТИ ГИГИЕНЫ: ПОИСК ОТВЕТОВ НА ИЗВЕСТНЫЕ УГРОЗЫ И НОВЫЕ ВЫЗОВЫ

А.Ю. Попова^{1,2}, С.В. Кузьмин³, Н.В. Зайцева⁴, И.В. Май⁴

¹Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Россия, 127994, г. Москва, Вадковский переулок, 18, стр. 5, 7

²Российская медицинская академия последипломного образования Минздрава России, Россия, 125993, г. Москва, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1

³Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана, Россия, 141014, г. Мытищи, ул. Семашко, 2

⁴Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 6140045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

Научная поддержка деятельности Федеральной службы по надзору в сфере прав потребителей и благополучия человека рассматривается в качестве важнейшего инструмента повышения результативности и эффективности функционирования системы. Концепция научного обеспечения органов и организаций Роспотребнадзора на 2021–2025 гг. имеет целью создание целостной, скоординированной, эффективной, устойчивой и адаптивной системы научного обеспечения мер по санитарно-эпидемиологическому благополучию населения. Особенностью концепции 2021–2025 гг. является акцент на наукоемких технологиях анализа и прогноза ситуации с опорой на цифровую информационно-аналитическую поддержку стратегических и оперативных решений по минимизации рисков и вреда здоровью населения. Акцентируется значимость фундаментальных исследований в области гигиены. Поставлены задачи развития научных основ клеточных и субклеточных технологий диагностики нарушений здоровья при воздействии факторов производственной и окружающей среды, образа жизни. Определена потребность в создании персонализированной медико-профилактической платформы сбережения здоровья и жизни на основе оценки, мониторинга, прогноза рисков, математического моделирования процессов в организме человека, современных данных физиологии и токсикологии. Включены задачи разработки инновационных технологий профилактики и реабилитации заболеваний, ассоциированных с факторами среды обитания и производственной среды, на основе наукоемких междисциплинарных исследований и программно-аппаратных комплексов нового поколения. В качестве крайне важного и перспективного вектора развития науки рассматривается расширение исследований на стыке гигиены и эпидемиологии. Подчеркивается необходимость оперативной передачи новых технологий специалистам, осуществляющим контрольно-надзорную, экспертную, лицензионную и иную деятельность в системе Роспотребнадзора.

Реализация концепции научного обеспечения осуществляется через отраслевую научно-исследовательскую программу на 2021–2025 гг. «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровью и повышения качества жизни населения России». Более 80 % всех ресурсов отраслевой программы будет направлено на решение наиболее актуальных текущих задач и предотвращение угроз будущих периодов. Выполнение основных стратегических направлений и задач Концепции и отраслевой научной программы позволит увеличить вклад органов и организаций санэпидслужбы в научно-технологическое и социально-экономическое развитие страны, в том числе в разработку и внедрение конкурентоспособной научно-технической продукции.

Ключевые слова: Роспотребнадзор, гигиенические исследования, научная поддержка, концепция научного обеспечения, отраслевая научная программа.

© Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Кузьмин С.В., Май И.В., 2021

Попова Анна Юрьевна – доктор медицинских наук, профессор, руководитель, заведующий кафедрой организации санитарно-эпидемиологической службы (e-mail: rmaro@rmaro.ru; тел.: 8 (499) 458-95-63; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4315-5307>).

Кузьмин Сергей Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, директор (e-mail: kuzminsv@fferisman.ru; тел.: 8 (495) 586-11-44; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9119-7974>).

Зайцева Нина Владимировна – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель (e-mail: znv@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 233-11-25; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

Май Ирина Владиславовна – доктор биологических наук, профессор, заместитель директора по научной работе (e-mail: may@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8997-5493>).

Стремительные темпы научного и технологического развития, усиление конкурентной борьбы, многократно возросшее влияние геополитических факторов, новые глобальные вызовы – все это требует разработки и реализации новых концептуальных моделей принятия решений в части стратегий экономического и социального развития общества. Фундаментальные факторы глобального кризиса, который начался в 2009 г. (нестабильность экономики, потеря рабочих мест более чем 5 млн человек в 15 ведущих странах мира [1]; увеличение разрыва между развитыми и развивающимися странами [2]) усугубились эпидемиологическими проблемами. Так, повестка дня Всемирного экономического форума в Давосе – 2021 еще с октября прошлого года описывалась лозунгом «Большая перезагрузка в эпоху после пандемии COVID-19». Стал более широко употребляться появившийся в начале кризиса термин «новая нормальность» (New normal) [3, 4], который предполагает «невозврат» к уровням и ценностям прошлых периодов, смену парадигм как общественного, так и индивидуального поведения, появление или видоизменение рисков для жизни, здоровья и благополучия человека [5, 6].

Сложившаяся ситуация требует серьезного изменения прежних подходов, более всего – в части сохранения и преумножения человеческого капитала. Это понимается многими государствами, в том числе и Россией: «Каждый наш шаг, новый закон, государственную программу мы должны оценивать, прежде всего, с точки зрения высшего национального приоритета – сбережения и приумножения народа России» (из Послания Президента Российской Федерации Федеральному Собранию Российской Федерации 21.01.2020 г.)¹.

В странах, которые планируют инвестировать в «здоровьеориентированные» проекты, разрабатываются новые концептуальные подходы к реализации «умных региональных стратегий», создаются инновационные и высокотехнологичные кластеры, центры превосходства (Centres of Excellence), фонды развития приоритетных технологических, социальных и экологических проектов. Продвигается идея повышения интенсивности и результативности сотрудничества академических, вузовских, ведомственных научных центров и бизнеса, развития наиболее авторитетных научных школ, формирования новых технологических платформ, принятия решений на основе согласования мнений стейкхолдеров. Максимально поддерживается развитие высокотехнологичных услуг, конкурентоспособных на глобальных рынках [6–8].

Вызовы и угрозы, связанные с гигиенической безопасностью населения, не так очевидны и обсуждаемы, как вызовы и угрозы для биологической (эпидемиологической) безопасности. Это особенно выражено в текущих условиях, когда весь мир сосредоточен на проблемах пандемии COVID-19. Однако от этого проблемы гигиенического характера не становятся менее масштабными и значимыми с позиций формирования медико-демографических потерь общества [9–12].

Загрязнение атмосферного воздуха, особенно в средних и крупных промышленных городах, формирует риски для здоровья населения, в том числе канцерогенные. В ряде случаев эти риски квалифицируются как недопустимые и реализуются в виде дополнительных случаев смерти, болезней органов дыхания, кровообращения, онкологических заболеваний, болезней иммунной и эндокринной системы и т.п. Ежегодно в стране неудовлетворительное качество воздуха дополнительно формирует порядка 3 тысяч случаев смерти и более 800 тысяч случаев заболеваний² [13–15].

Продолжается законодательно запрещенный сброс загрязненных сточных вод в водные объекты, в том числе в источники хозяйственно-питьевого водопользования населения. Значительные усилия государства в части обеспечения населения качественной питьевой водой дают положительные результаты – доля нестандартных проб питьевых вод в системах централизованного водоснабжения сократилась почти на 20 %. Однако около 8 % населения не получают питьевую воду необходимого уровня безопасности и качества [16, 17].

Накопленные отходы производства и потребления (порядка 31,6 млрд т) занимают в стране территорию общей площадью порядка 4 млн га. Располагаясь вблизи селитебных территорий, они снижают качество среды обитания населения и нередко являются причиной социальных волнений. Во многих субъектах Российской Федерации регистрируются факты загрязнения подземных вод, почв, в том числе сельскохозяйственных, а также нарушения санитарных норм и требований к сельскохозяйственной продукции как продовольственному сырью [18–20].

Сохраняются проблемы систематического шумового воздействия на городских территориях, в том числе в зонах влияния аэропортов и аэродромов [21]. Риски нарушений здоровья при воздействии физических факторов требуют количественных оценок и разработки мер профилактики.

Расширение сферы производства и практического применения пестицидов и агрохимикатов, на-

¹ Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию Российской Федерации 21.01.2020 г. [Электронный ресурс] // Парламентская газета. – URL: <https://www.pnp.ru/politics/opublikovan-polnyy-tekst-poslaniya-prezidenta-federalnomu-sobraniyu.html> (дата обращения: 02.02.2021).

² О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2019 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. – 299 с.

ночастиц и наноматериалов, синтез и включение в оборот новых веществ и материалов в таких отраслях промышленности, как химия и нефтехимия, фармацевтика, производство строительных и отделочных материалов, сельское хозяйство и пр., имеет следствием существенное расширение спектра химических веществ, контактирующих с человеком. В целом в стране в условиях комплексной химической нагрузки, определяемой загрязнением продуктов питания, питьевой воды, атмосферного воздуха и почвы, проживают порядка 89,1 млн человек (62,6 % населения страны) [22, 23]. Это требует масштабных опережающих токсико-гигиенических исследований, в том числе реализуемых с применением лучших лабораторных практик.

Не теряет актуальности проблема сохранения и преумножения здоровья работающих, особенно в условиях постепенного увеличения пенсионного возраста [24].

Требуют особого внимания условия образования, воспитания и образа жизни подрастающего поколения. Эти вопросы всегда были в поле зрения санитарной службы, однако в условиях введения принципиально новых приемов организации образовательного процесса детей – цифровизации учебных занятий, изменения структуры видов деятельности, сокращения частоты и интенсивности физических нагрузок и пр., когда регистрируется снижение состояния здоровья детей за период учебы, – инновационные подходы к системе управления рисками крайне необходимы [25, 26].

Нельзя не отметить, что сложившаяся санитарно-гигиеническая ситуация развивается в условиях изменения климата, который формирует не только экономические и эпидемиологические, но и санитарно-гигиенические риски. В Арктической зоне изменение уровней вечной мерзлоты грозит аварийными ситуациями на промышленных объектах с последствиями в виде загрязнения воздуха, почв, природных вод химическими веществами, в том числе высоко и чрезвычайно опасными. В маловодных, аридных районах изменение климата усугубляет проблемы сельскохозяйственного и питьевого водоснабжения со всеми вытекающими негативными последствиями, в том числе медико-демографическими [27, 28].

Изменение всех перечисленных и иных опасных тенденций в состоянии здоровья населения, ассоциированных с рисками в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия граждан Российской Федерации, не представляется возможным без научного сопровождения всей системы принятия решений и практических действий.

Несомненно, текущая деятельность Роспотребнадзора в целом обеспечена современным научным инструментарием и методами, которые в большинстве своем соответствуют лучшим мировым уровням и практикам.

На сегодня научно-исследовательские разработки в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологичес-

кого благополучия населения осуществляют 28 научных организаций Роспотребнадзора. Кадровый потенциал научно-исследовательских организаций службы составляет около 5000 сотрудников, в том числе 11 академиков и членов-корреспондентов Российской академии наук, 380 докторов и более 1200 кандидатов наук.

Лабораторная составляющая социально-гигиенического мониторинга и государственного контроля располагает приборной базой для газовой и высокоэффективной жидкостной хроматографии, атомно-абсорбционного анализа, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и пр. Применяемые методики измерения примесей в атмосферном воздухе, воздухе закрытых помещений, питьевых водах, почвах, пищевых продуктах обеспечивают контроль на уровнях референтных концентраций, гарантирующих безопасность человека. Развивается система биологического мониторинга [29–31].

Научные методы анализа санитарно-эпидемиологической ситуации с применением геоинформационных систем последних поколений в сопряжении с современным математическим инструментарием (теория нечетких множеств, нейросети, ситуационное моделирование и пр.) дают возможность выполнять пространственно-временной анализ распределения и динамики рисков и вреда для здоровья [32, 33].

При оценке санитарно-гигиенической ситуации и формировании доказательной базы негативного влияния факторов среды обитания на человека используются клеточные, субклеточные технологии, включая протеомный, метаболомный анализ. Это позволяет получать «отпечатки» экспозиции, отражающие метаболическое состояние организма, и понимать патогенез развития нарушений здоровья под воздействием определенных веществ или агентов [34].

Научные подходы к формированию риск-ориентированной модели контрольно-надзорной деятельности службы позволили при общем сокращении числа проверок сохранить в области контроля объекты, которые формируют основные риски и угрозы для здоровья населения.

Рассматривая научную поддержку в качестве важнейшего инструмента повышения результативности и эффективности функционирования санитарно-эпидемиологической службы в целом, рабочей группой подготовлена «Концепция научного обеспечения органов и организаций Роспотребнадзора на 2021–2025 гг. и отраслевые программы по актуальным вопросам обеспечения деятельности Роспотребнадзора», которая утверждена Приказом руководителя от 21.12.2020 г. № 869 (далее – Концепция).

Документ подготовлен с учетом основных положений и целевых установок, заданных стратегическими документами РФ, в том числе в сфере развития современной науки: «Стратегия развития медицинской науки в Российской Федерации на период до

2025 года» (утв. Распоряжением Правительства РФ от 28.12.2012 № 2580-р)³, «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации» (утв. Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642)⁴, Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию 01.03.2018 г.⁵, Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»⁶, «Основы государственной политики в области обеспечения химической и биологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» (утв. Указом Президента Российской Федерации от 11 марта 2019 г. № 97)⁷, Указ Президента Российской Федерации от 06.06.2019 г. № 254 «О стратегии развития здравоохранения в Российской Федерации на период до 2025 года»⁸; «Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» (утв. Указом Президентом РФ от 13.10.2018 г. № 585)⁹.

Целеполаганием Концепции является последовательное развитие отраслевой науки в направлении создания целостной, скоординированной, эффективной, устойчивой и адаптивной системы научного обеспечения мер по санитарно-эпидемиологическому благополучию населения.

В полном соответствии с функциями и полномочиями службы, а также с учетом вызовов и угроз текущего и прогнозного (кратко- и среднесрочного) периода в качестве приоритетных направлений научных исследований в области гигиены, укрепления здоровья населения и совершенствования санитарного надзора осуществлены:

– обоснование методов системной оценки, прогнозирования, управления рисками здоровью и качества жизни населения, связанными с факторами среды обитания;

– научное обоснование комплексных мер по оценке и управлению риском для здоровья работающего населения в ведущих отраслях промышленности и сельского хозяйства;

– разработка методов системной оценки, прогнозирования, управления рисками здоровью детей, подростков и молодежи, связанными с факторами среды обитания, особенностями жизнедеятельности и образовательной среды;

– научное обоснование системы оценки и управления рисками для обеспечения продовольственной безопасности;

– разработка и развитие научных основ цифровой медико-профилактической платформы сбережения здоровья на основе прогноза популяционных и индивидуальных рисков и оценки вреда здоровью, ассоциированных с факторами среды обитания и качеством жизни населения;

– развитие методов гигиенического нормирования и контроля на основе международных данных, математического моделирования и методологии оценки риска здоровью;

– научное обеспечение радиационной безопасности населения России в целях минимизации рисков здоровью.

По каждому из направлений сформулированы актуальные задачи и научная тематика исследований, среди которых, к примеру:

– разработка новых методов идентификации и количественной оценки факторов окружающей среды, в том числе скрининговых и методов биомониторинга;

³ Об утверждении Стратегии развития медицинской науки в Российской Федерации на период до 2025 года: Распоряжение Правительства РФ от 28.12.2012 № 2580-р [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140249/ (дата обращения: 02.02.2021).

⁴ О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента РФ от 01.12.2016 № 642 (ред. от 15.03.2021) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207967/ (дата обращения: 02.02.2021).

⁵ Послание Президента РФ Федеральному Собранию от 01.03.2018 «Послание Президента Федеральному Собранию» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_291976/ (дата обращения: 02.02.2021).

⁶ О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_291976/ (дата обращения: 02.02.2021).

⁷ Об Основах государственной политики Российской Федерации в области обеспечения химической и биологической безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу: Указ Президента РФ от 11.03.2019 № 97 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_319787/ (дата обращения: 02.02.2021).

⁸ О Стратегии развития здравоохранения в Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента РФ от 06.06.2019 № 254 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_326419/ (дата обращения: 02.02.2021).

⁹ Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу: Указ Президента РФ от 13.10.2018 № 585 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_308884/ (дата обращения: 02.02.2021).

- развитие методических основ оценки и прогноза влияния факторов на состояние здоровья различных групп населения с использованием химических, клинических, функциональных, иммунологических, генетических, цитологических, неинвазивных и альтернативных методов;

- установление и параметризация причинно-следственных связей развития профессиональной и профессионально обусловленной заболеваемости населения и разработка научно обоснованной системы управления рисками здоровью работающих;

- научное обоснование минимизации рисков для здоровья детей и подростков в условиях современного образовательного и воспитательного процесса;

- совершенствование системы токсикологической оценки ксенобиотиков, новых веществ и материалов в том числе наноразмерных, на основе изучения общетоксических и специфических эффектов (мутагенность, канцерогенность, гонадо-, эмбриотоксичность, тератогенность, нейротоксичность и др.);

- развитие теории и практики гигиенического нормирования с учетом новейших достижений современной науки в области медицины и биологии, в том числе на клеточном, генетическом и молекулярном уровнях;

- совершенствование системы государственного регулирования безопасности при использовании источников ионизирующих излучений с учетом современного уровня развития науки, техники и производства;

- изучение механизмов возникновения и развития нарушений здоровья человека под воздействием комплекса факторов (генетических, природно-климатических, техногенных, биологических, внешнесредовых, производственных, образа жизни и т.п.) с использованием наукоемких диагностических и информационных платформ;

- совершенствование этиопатогенетического обоснования методов профилактики неинфекционных заболеваний, ассоциированных с факторами риска; разработка научных основ персонализированной медико-профилактической платформы сбережения здоровья и жизни на основе оценки, мониторинга, прогноза рисков и т.п.

Особенностью Концепции 2021–2024 гг. является акцент на наукоемких технологиях анализа и прогноза ситуации с опорой на цифровую информационно-аналитическую поддержку стратегических и оперативных решений по минимизации рисков и вреда здоровью населения. Концепция предполагает развитие алгоритмов и методов сбора и обработки информации, сценарного моделирования, построения интеллектуальных программно-аппаратных систем, способных на основе анализа многомерных, разнородных данных генерировать новые, не всегда

очевидные даже для экспертов, выводы и заключения, в том числе в онлайн-режиме.

Положения Концепции полностью корреспондируются с целями и задачами Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.), которая утверждена 31 декабря 2020 г. Распоряжением Правительства Российской Федерации № 3684-р¹⁰, и одним из исполнителей которой является Роспотребнадзор.

Ведомственным документом акцентируется поддержка фундаментальных исследований в области гигиены, которые в дальнейшем могут придать новый импульс прикладным работам со значимыми практическими результатами. Поставлены задачи развития научных основ идентификации и мониторинга протеомных профилей, экспрессии и полиморфизма отдельных генов и ультраструктурных нарушений в организме, возникающих при воздействии факторов производственной и окружающей среды, образа жизни. Определена потребность в создании персонализированной медико-профилактической платформы сбережения здоровья и жизни на основе оценки, мониторинга, прогноза рисков, математического моделирования процессов в организме человека, самых новых данных физиологии и токсикологии. Включены задачи разработки инновационных технологий профилактики и реабилитации заболеваний, ассоциированных с факторами среды обитания и производственной среды, на основе наукоемких междисциплинарных исследований и программно-аппаратных комплексов нового поколения. Большая часть исследований ориентирована на управление рисками здоровью детей и подростков в условиях внедрения новых образовательных технологий, существенного изменения поведенческих практик и образа жизни.

В качестве крайне важного и перспективного вектора развития науки рассматривается расширение исследований на стыке гигиены и эпидемиологии. Это, прежде всего, научные разработки, ориентированные на изучение механизмов и последствий влияния загрязнения среды обитания на формирование и поддержку поствакцинального иммунитета, на развитие собственно эпидемического процесса. Такие пограничные исследования особенно актуальны как в текущей санитарно-эпидемиологической ситуации, так и с учетом перспективных аналогичных угроз и рисков [35–39].

Вместе с тем, очевидно, что научные разработки должны обеспечивать потребности практического звена Роспотребнадзора. Это требует оперативной передачи новых технологий специалистам, осуществляющим контрольно-надзорную, экспертную, лицензионную и иную деятельность в системе

¹⁰ Об утверждении Программы фундаментальных научных исследований в РФ на долгосрочный период (2021–2030 гг.): Распоряжение Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3684-р Об утверждении Программы фундаментальных научных исследований в РФ на долгосрочный период (2021–2030 гг.) [Электронный ресурс] // Гарант.Ру. Информационно-правовой портал. – URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400070256/> (дата обращения: 02.02.2021).



Рис. Принципиальная схема взаимодействия науки и практики в условиях новых вызовов и угроз

Роспотребнадзора. Последнее потребует усилий не только со стороны научных организаций, но и со стороны работников практической службы, у которых должны быть сформированы новые компетенции и навыки (рисунок).

В свою очередь освоение новых инструментов и методов работы с информационными потоками и результатами анализа позволит специалистам управлений Роспотребнадзора и центров гигиены и эпидемиологии обеспечить тесную обратную связь, когда по итогам контрольно-надзорных мероприятий, социально-гигиенического мониторинга и пр. перед наукой ставятся новые задачи, формируется запрос на новые технологии, методы, критерии и т.п.

Реализация Концепции научного обеспечения осуществляется через отраслевую научно-исследовательскую программу на 2021–2025 гг. «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровья и повышения качества жизни населения России». В рамках программы сформирован перечень 169 научно-исследовательских работ, предполагающих решение 26 крупных задач по семи научным направлениям в области гигиены. 143 НИР прошли экспертизу в РАН и включены в государственные задания ведомственных научно-исследований организаций на 2021 г.

В рамках отраслевой научной программы более 80 % всех ресурсов будет направляться на исследования, посвященные решению наиболее актуальных текущих задач и предотвращению угроз будущих периодов. Это потребует от ряда научных организаций Роспотребнадзора существенно изменить направленность и содержание научных исследований.

Предполагается, что отраслевая научная программа при сохранении базовых векторов исследова-

ний будет в определенной мере динамичной, дающей возможность корректировать ряд научных исследований в ответ на возникающие актуальные задачи. Кроме того, программа сможет реагировать на развитие положений стратегических документов, таких как Национальные проекты «Экология», «Демография», «Здравоохранение», распоряжение Правительства Российской Федерации № 3680-р от 20.12.2020 г.¹¹, «План мероприятий (“дорожная карта”) по развитию и укреплению системы федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора на 2021–2028 годы», «План мероприятий, проводимых в рамках Десятилетия детства, на период до 2027 года» (утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 января 2021 г. № 122-р)¹² и т.п.

Многоплановость исследований по различным направлениям и программам, обилие задач, значительное число исполнителей, необходимость обобщения и интеграции полученных результатов, развитие санитарного законодательства, потребность в подготовке разноплановых нормативно-методических документов, актуальность тесного контакта научных организаций и практики службы требуют новых подходов к организации научных исследований, внедрения инструментов проектного управления.

Повышение эффективности первоочередного и долгосрочного планирования и координации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ обеспечивается полным и всесторонним учетом полученных научных результатов и итогов их внедрения в практику. Концепция предполагает совершенствование мониторинга и оценки результативности деятельности научных сотрудников, подразделений и коллективов в целом, разработку и проведение мероприятий по повышению уровня научных исследований.

¹¹ Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по развитию и укреплению системы федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора на 2021–2028 годы: Распоряжение Правительства РФ от 30.12.2020 № 3680-р [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373356/ (дата обращения: 02.02.2021).

¹² Об утверждении плана основных мероприятий, проводимых в рамках Десятилетия детства, на период до 2027 года: Распоряжение Правительства РФ от 23.01.2021 № 122-р [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373356/ (дата обращения: 02.02.2021).

Ставится задача расширения взаимодействия между научными организациями Роспотребнадзора и территориальными органами, в том числе других федеральных органов исполнительной власти. Важным инструментом взаимодействия является создание референс-центров по актуальным направлениям гигиены и информационный обмен с заключением соглашений и договоров о сотрудничестве (в том числе многосторонних) с четким обоснованием актуальности решаемой проблемы и научно-практической значимости предполагаемых результатов.

Концепция определяет развитие кадровой политики на основе учета результативности каждого научного сотрудника, удельного веса научных работников в возрасте до 39 лет в общей численности научных работников в организации. Будет активизирована деятельность по подготовке кадров высшей квалификации, привлечению молодых специалистов путем интеграции научно-исследовательской и образовательной деятельности и создания научно-образовательных центров с участием профильных вузов.

Планируется устанавливать и развивать партнерские отношения и осуществлять совместные работы с зарубежными научными центрами по основным научно-практическим направлениям, обеспечивающим санитарно-эпидемиологическое благополучие населения. В приоритете – сотрудничество со странами ЕвразЭС, совершенствование взаимодействия с ВОЗ, МОТ, ККА, МАГАТЭ, ЮНКТАД, ОЭСР, ВТО и другими международными организациями по актуальным проблемам санитарно-эпидемиологического благополучия, разработки и реализации мер по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

Представляется целесообразным рассмотрение вопроса о создании центра стратегического планирования научных исследований в сфере гигиены, токсикологии и химической безопасности с функциями контроля, внутриведомственной экспертизы, анализа, обобщения результатов научных работ, координации работы проблемных комиссий для подготовки современных интегрированных документов санитарного законодательства, новых технологий санитарно-эпидемиологического надзора, профилактических программ и мероприятий.

В целом предполагается, что выполнение основных стратегических направлений и задач Концепции позволит:

- обеспечить высокий научно-методический уровень и повысить эффективность контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора;
- увеличить вклад органов и организаций Санэпидслужбы в научно-технологическое и социально-экономическое развитие страны, в том числе в разработку и внедрение конкурентоспособной научно-технической продукции;
- обеспечить органы и организации Роспотребнадзора наукоемкими эффективными инструментами контроля, анализа и прогноза санитарно-эпидемиологической ситуации;
- способствовать выходу фундаментальных и прикладных научных исследований на современный уровень, отвечающий международным стандартам и требованиям;
- создать условия для перехода на качественно новый уровень взаимодействия научных организаций с органами и организациями Роспотребнадзора;
- повысить эффективность использования научного оборудования и бюджетных средств в научных организациях;
- обеспечить повышение качества подготовки кадров высшей квалификации и поддержку молодых ученых и специалистов;
- повысить уровень и расширить масштабы международного научного сотрудничества по проблемам обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия.

Консолидации ресурсов и усилий службы для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения в долгосрочном периоде будет способствовать работа «Всероссийского общества гигиенистов, токсикологов и санитарных врачей», которое по поручению Руководителя службы юридически оформлено и 01.02.2021 г. зарегистрировано в Министерстве юстиции РФ.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Список литературы

1. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. – New York: Crown Business, 2017. – 192 p.
2. Нехорошева Л.Н. Изменение инновационного ландшафта в контексте формирования индустрии 4.0: новые угрозы и первоочередные задачи // Цифровая трансформация экономики и промышленности: проблемы и перспективы: монография. – СПб.: Изд-во «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2017. – С. 29–49.
3. Юдаева К. New Normal для России // Экономическая политика. – 2010. – № 6. – С. 196–200.
4. El-Erian M.A. Navigating the new normal in industrial countries [Электронный ресурс] // International Monetary Fund. – 2010. – URL: <https://www.imf.org/en/News/Articles/2015/09/28/04/53/sp101010> (дата обращения: 02.02.2021).
5. Иванов О.Б. Глобальные риски и новые вызовы человеческой цивилизации // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. – 2020. – № 2. – С. 7–20.
6. World Economic Forum. Third global Risk Reports [Электронный ресурс] // Weforum. – 2020. – URL: <http://www.weforum.org/events/0world-economic-forum-2020> (дата обращения: 02.02.2021).
7. Истомина Е.А. Защита от новых социальных рисков: вопросы междисциплинарного взаимодействия // Российское право: образование, практика, наука. – 2020. – № 4. – С. 63–72.

8. Тучкова Э.Г. Проблемы реализации социально-экономических прав человека в условиях четвертой промышленной революции // Вестник Университета им. О.Е. Кутафина (МГЮА). – 2019. – № 11. – С. 48–53.
9. Reis J., Spencer P.S. Decision-making under uncertainty in environmental health policy: new approaches // *Environ Health Prev. Med.* – 2019. – № 24. – P. 57.
10. Future Global Shocks [Электронный ресурс] // OECD. Better policies for better lives. – URL: <http://www.oecd.org/gov/risk/futureglobalshocks.htm> (дата обращения: 02.02.2020).
11. Environmental, Health, and Safety Guidelines. General EHS guidelines [Электронный ресурс] // International Finance Corporation: World Bank Group. – 2020. – URL: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/policies-standards/ehs-guidelines (дата обращения: 02.02.2020).
12. Sheikh H. Cooperation and not isolation will help us fight COVID-19 [Электронный ресурс] // World Economic Forum. – 2020. – URL: <https://www.weforum.org/agenda/2020/04/cooperation-not-isolation-will-help-fight-covid-19/> (дата обращения: 20.07.2020).
13. Опыт практических исследований по сравнительной оценке радиационных и химических рисков здоровью населения от воздействия факторов окружающей среды / С.М. Новиков, Т.А. Шашина, Н.С. Додина, В.А. Кислицин, С.А. Скворонская, А.В. Мацюк, С.В. Панченко, А.А. Аракелян // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 12. – С. 1425–1431.
14. Ревич Б.А., Харьков Т.Л., Кваша Е.А. Продолжительность жизни и смертность в мегаполисах // Человек в мегаполисе: опыт междисциплинарного исследования / под ред. Б.А. Ревича, О.В. Кузнецовой. – М.: ЛЕНАНД, 2018. – 640 с.
15. Оценка риска для здоровья населения от воздействия химических веществ, определяемых в атмосферном воздухе города Челябинска за 2015–2017 гг. / Н.Н. Валеулина, В.М. Ефремова, А.Л. Бекетов, Н.А. Брылина, Е.В. Никифорова, Г.Ш. Гречко, Т.С. Колотова // Актуальные вопросы анализа при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 95–100.
16. Фридман К.Б., Новикова Ю.А., Белкин А.С. Оценка риска здоровья в целях гигиенической характеристики систем водоснабжения // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 7. – С. 686–689.
17. Актуальные проблемы управления рисками здоровью населения в России / В.Н. Ракитский, С.Л. Авалиани, Т.А. Шашина, Н.С. Додина // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 6. – С. 572–575.
18. Шилова Ю.О., Витковская С.Е. Оценка воздействия полигона твердых бытовых отходов на содержание тяжелых металлов в почве и растениях // Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего: материалы международной научной конференции, посвященной 85-летию Агрофизического НИИ. – СПб., 2017. – С. 536–539.
19. Гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения, проживающего в зоне влияния мест складирования отходов горно-обогатительного комбината / С.В. Клейн, С.А. Вековщина, С.Ю. Балашов, В.А. Хорошавин, В.М. Ухабов // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 1. – С. 10–15.
20. Унгуриян Т.Н., Гудков А.Б., Никанов А.Н. Оценка риска для здоровья городского населения при воздействии загрязнителей почвы // Профилактическая и клиническая медицина. – 2012. – № 1. – С. 101–105.
21. Картышев О.А., Николайкин Н.И. Критерии оценки авиационного шума для зонирования приаэродромной территории аэропортов и обоснования защитных мероприятий // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2017. – Т. 20, № 3. – С. 30–40.
22. Онищенко Г.Г. Химическая безопасность – важнейшая составляющая санитарно-эпидемиологического благополучия населения // Токсикологический вестник. – 2014. – № 1. – С. 2–6.
23. Хамидуллин Х.Х. Современные международные требования к управлению риском воздействия химического фактора и их реализация в системе Государственного санитарно-эпидемиологического надзора // Анализ риска здоровью. – 2014. – № 2. – С. 14–18. DOI: 10.21668/health.risk/2014.2.02
24. Бухтияров И.В. Современное состояние и основные направления сохранения и укрепления здоровья работающего населения России // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 527–532.
25. Популяционное здоровье детского населения, риски здоровью и санитарно-эпидемиологическое благополучие обучающихся: проблемы, пути решения, технологии деятельности / В.Р. Кучма, Л.М. Сухарева, И.К. Рапопорт, Е.И. Шубочкина, Н.А. Скоблина, О.Ю. Милушкина // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 10. – С. 990–995.
26. Child health in the European Union / A. Cattaneo, L. Cogoy, A. Macaluso, G. Tamburini. – Luxemburg: European Commission, 2012. – 134 p.
27. Temperature-related mortality impacts under and beyond Paris Agreement climate change scenarios / A.M. Vicedo-Cabrera, Y. Guo, F. Sera, V. Huber, C.F. Schleussner, D. Mitchell, S. Tong, E. Lavigne [et al.] // *Climatic Change*. – 2018. – Vol. 150, № 3–4. – P. 391–402. DOI: 10.1007/s10584-018-2274-3
28. Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios / A. Gasparri, Y. Guo, F. Sera, A.M. Vicedo-Cabrera // *The Lancet Planetary Health*. – 2017. – Vol. 1, № 9. – P. e360–e367. DOI: 10.1016/S2542-5196(17)30156-0
29. Методическое обеспечение определения токсичных и эссенциальных элементов в биологических средах человека для задач социально-гигиенического мониторинга и биомедицинских исследований / О.В. Гилева, Т.С. Уланова, Г.А. Вейхман, А.В. Недошитова, Е.В. Стенно // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 1. – С. 116–121.
30. Социально-гигиенический мониторинг и информационно-аналитические системы обеспечения оценки и управления риском для здоровья населения и риск-ориентированной модели надзорной деятельности / С.В. Кузьмин, В.Б. Гурвич, О.В. Диконская, Б.И. Никонов, О.Л. Малых, С.В. Ярушин, Е.А. Кузьмина, Н.И. Кочнева, А.С. Корнилов // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 12. – С. 1130–1136.
31. Землянова М.А., Тихонова И.В. Реализация рисков развития заболеваний органов дыхания у детей, подвергающихся воздействию химических факторов экспозиции, связанной с хозяйственной деятельностью субъекта по производству глинозема // Здоровье населения и среда обитания. – 2019. – Т. 320, № 11. – С. 42–47.
32. Применение геоинформационных систем при ведении социально-гигиенического мониторинга и обосновании управленческих решений / Е.В. Мадеева, С.С. Ханхарева, Е.Е. Багаева, А.А. Болошинова // Санитарный врач. – 2014. – № 5. – С. 16–19.
33. Архипова О.Е., Черногубова Е.А., Лихтанская Н.В. Геоинформационное моделирование медико-экологической безопасности Южных регионов России // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 109–122.

34. Оценка аэрогенного воздействия приоритетных химических факторов на здоровье детского населения в зоне влияния предприятий по производству алюминия / Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, Ю.В. Кольдибекова, И.Г. Жданова-Заплесвичко, А.Н. Пережогин, С.В. Клейн // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 1. – С. 68–75.

35. Ильина С.В., Савилов Е.Д. Техногенное загрязнение окружающей среды и эффективность вакцинопрофилактики у детского населения // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. – 2009. – Т. 47, № 4. – С. 57–62.

36. Боев М.В., Кряжев Д.А., Боев В.М. Влияние факторов окружающей среды на формирование поствакцинального иммунитета // Гигиена и санитария. – 2014. – Т. 93, № 5. – С. 52–54.

37. Assessing the relationship between surface levels of PM_{2.5} and PM₁₀ particulate matter impact on COVID-19 in Milan, Italy / M.A. Zoran, R.S. Savastru, D.M. Savastru, M.N. Tautan // Sci. Total. Environ. – 2020. – № 738. – P. 139825. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139825

38. Fattorini D, Regoli F. Role of the chronic air pollution levels in the Covid-19 outbreak risk in Italy // Environ Pollut. – 2020. – № 264. – P. 114732. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114732

39. Adhikari A., Yin J. Short-term effects of ambient ozone, PM_{2.5}, and meteorological factors on COVID-19 confirmed cases and deaths in Queens, New York // IJERPH. – 2020. – № 17. – P. 4047. DOI: 10.3390/ijerph17114047

Приоритеты научной поддержки деятельности санитарно-эпидемиологической службы в области гигиены: поиск ответов на известные угрозы и новые вызовы / А.Ю. Попова, Н.В. Зайцева, С.В. Кузьмин, И.В. Май // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 4–14. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.01

UDC 001.89; 613

DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.01.eng



Research article

PRIORITIES IN SCIENTIFIC SUPPORT PROVIDED FOR HYGIENIC ACTIVITIES ACCOMPLISHED BY A SANITARY AND EPIDEMIOLOGIC SERVICE: HOW TO FACE KNOWN THREATS AND NEW CHNALLANGES

A.Yu. Popova^{1,2}, S.V. Kuzmin³, N.V. Zaitseva⁴, I.V. May⁴

¹Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Bldg. 5 and 7, 18 Vadkovskiy lane, Moscow, 127994, Russian Federation

²Russian Medical Academy for Postgraduate Studies, 2/1 Barrikadnaya Str., Moscow, 123995, Russian Federation

³Federal Research Center of Hygiene named after F.F. Erisman, 2 Semashko Str., Mytishchi, 141014, Russian Federation

⁴Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

Scientific support provided for activities accomplished by the Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Well-being is considered to be a most significant tool for raising productivity and efficiency of the system functioning. A concept on scientific support provided for Rospotrebnadzor's organs and authorities in 2021–2025 focuses on creating an integral, coordinated, efficient, stable, and adaptive system of scientific support provided for activities aimed at securing sanitary-epidemiologic welfare of the population. A peculiar feature of this concept for 2021–2025 is an emphasis on science-intensive analysis technologies and predictions based on digital informational and analytical support provided for strategic and operative decisions on minimizing risks and damage to population health. Another emphasis is on significance of fundamental hygienic research. The concept sets the tasks to develop scientific grounds for cellular and sub-cellular technologies applied to diagnose health disorders under exposure to occupational and environmental factors as

© Popova A.Yu., Kuzmin S.V., Zaitseva N.V., May I.V., 2021

Anna Yu. Popova – Doctor of Medical Sciences, Professor, Supervisor, Head of the Department for Sanitary-Epidemiologic Service Organization (e-mail: rmapo@rmapo.ru; tel.: +7 (499) 458-95-63; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4315-5307>).

Sergey V. Kuzmin – Doctor of Medical Sciences, Professor, Director (e-mail: kuzminsv@fferisman.ru; tel.: +7 (495) 586-11-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9119-7974>).

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>).

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

well as lifestyle-related ones. It is necessary to create a personified medical and preventive platform for preserving life and health; the platform should be based on risk assessing, monitoring and prediction, mathematical modeling of processes occurring in a body, and the latest data on physiology and toxicology. The Concept also covers issues related to developing innovative technologies for preventing and rehabilitating diseases associated with environmental and occupational factors basing on science-intensive cross-disciplinary studies and the most up-to-date hardware and software complexes. More enhanced hygienic and epidemiologic research is an extremely important and promising vector in scientific development. The Concept outlines the necessity to promptly make new technologies available to experts who are responsible for control, surveillance, inspections, licensing, and other activities within Rospotrebnadzor system.

The Concept on scientific support is being implemented via «Scientific substantiation for the national system for providing sanitary-epidemiologic welfare, health risk management, and raising life quality of the RF population», a specialized scientific-research program for 2021–2025. More than 80 % resources allocated within the specialized program will be assigned for solving the most vital tasks and preventing future threats. Finding solutions to major strategic tasks set by the Concept and the specialized scientific program will allow achieving greater contributions made by organs and authorities of the sanitary-epidemiologic service into scientific, technological, and socioeconomic development of the country including a contribution into developing and implementing competitive scientific-technical products.

Key words: Rospotrebnadzor, hygienic studies, scientific support, concept on scientific support, specialized scientific program.

References

1. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. New York, Crown Business Publ., 2017, 192 p.
2. Nekhorosheva L.N. The change of innovative landscape in the context of development «Industry 4.0» of technological and economic development: problems and priorities. *Tsifrovaya transformatsiya ekonomiki i promyshlennosti: problem i perspektivy: monografiya*. Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo «Sankt-Peterburgskii politekhnicheskii universitet Petra Velikogo», pp. 29–49 (in Russian).
3. Yudaeva K. New Normal for Russia. *Ekonomicheskaya politika*, 2010, no. 6, pp. 196–200 (in Russian).
4. El-Erian M.A. Navigating the new normal in industrial countries. *International Monetary Fund*, 2010. Available at: <https://www.imf.org/en/News/Articles/2015/09/28/04/53/sp101010> (02.02.2021).
5. Ivanov O.B. Global risks and new challenges human civilization faces. *ETAP: ekonomicheskaya teoriya, analiz, praktika*, 2020, no. 2, pp. 7–20 (in Russian).
6. World Economic Forum. Third global Risk Reports. Weforum, 2020. Available at: <http://www.weforum.org/events0world-economic-forum-2020> (02.02.2021).
7. Istomina E.A. Protection from new social risks: issues of interdisciplinary research. *Rossiiskoe pravo: obrazovanie, praktika, nauka*, 2020, no. 4, pp. 63–72 (in Russian).
8. Tuchkova E.G. Problems of implementation socio-economic human rights in the context of the in industrial revolution. *Vestnik Universiteta im. O.E. Kutafina (MGYuA)*, 2019, no. 11, pp. 48–53 (in Russian).
9. Reis J., Spencer P.S. Decision-making under uncertainty in environmental health policy: new approaches. *Environ Health Prev. Med*, 2019, no. 24, pp. 57.
10. Future Global Shocks. *OECD. Better policies for better lives*. Available at: <http://www.oecd.org/gov/risk/future-globalshocks.htm> (02.02.2020).
11. Environmental, Health, and Safety Guidelines. General EHS guidelines. *International Finance Corporation: World Bank Group*, 2020. Available at: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/policies-standards/ehs-guidelines (02.02.2020).
12. Sheikh H. Cooperation and not isolation will help us fight COVID-19. *World Economic Forum*, 2020. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2020/04/cooperation-not-isolation-will-help-fight-covid-19/> (20.07.2020).
13. Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislitsin V.A., Skovronskaya S.A., Matsyuk A.V., Panchenko S.V., Arakelyan A.A. The experience of empirical research on comparative assessment of radiation and chemical health risks due to exposure to environmental factors. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 12, pp. 1425–1431 (in Russian).
14. Revich B.A., Khar'kova T.L., Kvasha E.A. Prodolzhitel'nost' zhizni i smertnost' v megapolisakh [Life expectancy and mortality in megacities]. *Chelovek v megapolise: opyt mezhdistsiplinarnogo issledovaniya*. In: B.A. Revich, O.V. Kuznetsova eds. Moscow, LENAND Publ., 640 p. (in Russian).
15. Valeulina N.N., Efremova V.M., Beketov A.L., Brylina N.A., Nikiforova E.V., Grechko G.Sh., Kolotova T.S. Otsenka riska dlya zdorov'ya naseleniya ot vozdeistviya khimicheskikh veshchestv, opredelyaemykh v atmosfernom vozdukh goroda Chelyabinsk za 2015–2017 gg. [Assessing health risks caused by exposure to chemicals detected in ambient air in Chelyabinsk in 2015–2017]. *Aktual'nye voprosy analiza pri obespechenii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya i zashchity prav potrebiteli: materialy IX Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 2019, pp. 95–100 (in Russian).
16. Fridman K.B., Novikova Yu.A., Belkin A.S. On the issue of the use of health risk assessment techniques for hygienic characteristics of water supply systems. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 7, pp. 686–689 (in Russian).
17. Rakitskii V.N., Avaliani S.L., Shashina T.A., Dodina N.S. Actual problems of population health risks management in Russia. *Gigiena i sanitariya*, 2018, vol. 97, no. 6, pp. 572–575 (in Russian).
18. Shilova Yu.O., Vitkovskaya S.E. Otsenka vozdeistviya poligona tverdykh bytovykh otkhodov na sodержание tyazhelykh metallov v pochve i rasteniyakh [Assessing impacts produced by a solid communal wastes landfill on heavy metal contents in soils and plants]. *Tendentsii razvitiya agrofiziki: otaktual'nykh problem zemledeliya i rastenievodstva k tekhnologiyam budushchego: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 85-letiyu Agrofizicheskogo NII*. Sankt-Peterburg, 2017, pp. 536–539 (in Russian).

19. Kleyn S.V., Vekovshina S.A., Balashov S.Yu., Khoroshavin V.A., Ukhov V.M. Hygienic evaluation of the carcinogenic risk to health of the population living in the zone of the exposure to places of the burial storage of waste of mining and processing enterprises. *Gigiena i sanitariya*, 2018, vol. 97, no. 1, pp. 10–15 (in Russian).
20. Unguryanu T.N., Gudkov A.B., Nikanov A.N. Health risk assessment of soil contaminants for health of urban population. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina*, 2012, no. 1, pp. 101–105 (in Russian).
21. Kartyshev O.A., Nikolaikin N.I. Criteria of the aviation noise assessment for aerodrome environs zoning of the airports and protective measures justification. *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoi aviatsii*, 2017, vol. 20, no. 3, pp. 30–40 (in Russian).
22. Onishchenko G.G. Chemical safety is the most important constituent of the sanitary and epidemiological well-being of population. *Toksikologicheskii vestnik*, 2014, no. 1, pp. 2–6 (in Russian).
23. Khamidulina Kh.Kh. Modern chemical factors' risk and impact management international requirements and their implementation in the system of state sanitary-epidemiologic control. *Health Risk Analysis*, 2014, no. 2, pp. 14–17. DOI: 10.21668/health.risk/2014.2.02.eng
24. Bukhtiyarov I.V. Current state and main directions of preservation and strengthening of health of the working population of Russia. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 527–532 (in Russian).
25. Kuchma V.R., Sukhareva L.M., Rapoport I.K., Shubochkina E.I., Skoblina N.A., Milushkina O.Yu. Population health of children, risks to health and sanitary and epidemiological wellbeing of students: problems, ways of solution and technology of the activity. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 10, pp. 990–995 (in Russian).
26. Cattaneo A., Cogoy L., Macaluso A., Tamburini G. Child health in the European Union. Luxemburg, European Commission Publ., 2012, 134 p.
27. Vicedo-Cabrera A.M., Guo Y., Sera F., Huber V., Schleussner C.F., Mitchell D., Tong S., Lavigne E. [et al.]. Temperature-related mortality impacts under and beyond Paris Agreement climate change scenarios. *Climatic Change*, 2018, vol. 150, no. 3–4, pp. 391–402. DOI: 10.1007/s10584-018-2274-3
28. Gasparrini A., Guo Y., Sera F., Vicedo-Cabrera A.M. Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *The Lancet Planetary Health*, 2017, vol. 1, no. 9, pp. e360–e367. DOI: 10.1016/S2542-5196(17)30156-0
29. Gileva O.V., Ulanova T.S., Veikhman G.A., Nedoshitova A.V., Stenno E.V. Methodical assurance of the assessment of toxic and essential elements in human biological matrices. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 1, pp. 116–121 (in Russian).
30. Kuz'min S.V., Gurvich V.B., Dikonskaya O.V., Nikonov B.I., Malykh O.L., Yarushin S.V., Kuz'mina E.A., Kochneva N.I., Kornilkov A.S. Socio-hygienic monitoring and information analysis systems supporting the health risk assessment and management and a risk-focused model of supervisory activities in the sphere of securing sanitary and epidemiologic public welfare. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 12, pp. 1130–1136 (in Russian).
31. Zemlyanova M.A., Tikhonova I.V. Occurrence of the risks for the development of respiratory diseases in children exposed to the chemical factors of alumina refinery-associated economic activity. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2019, vol. 320, no. 11, pp. 42–47.
32. Madeeva E.V., Khankhareev S.S., Bagaeva E.E., Boloshinova A.A. GIS application in the conduct of public health monitoring and inform management decisions. *Sanitarnyi vrach*, 2014, no. 5, pp. 16–19 (in Russian).
33. Arkhipova O.E., Chernogubova E.A., Likhtanskaya N.V. Spatiotemporal analysis of the incidence of cancer diseases case study of southern regions of Russian Federation. *InterKarto. InterGIS*, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 109–122 (in Russian).
34. Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., Kol'dibekova Yu.V., Zhdanova-Zaplesvichko I.G., Perezhogin A.N., Kleyn S.V. Evaluation of the aerogenic impact of priority chemical factors on the health of the child population in the zone of the exposure of aluminum enterprises. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 1, pp. 68–75 (in Russian).
35. Il'ina S.V., Savilov E.D. Technogenic environmental pollution and the effectiveness of vaccination in children's population. *Epidemiologiya i vaksinoprofilaktika*, 2009, vol. 47, no. 4, pp. 57–62 (in Russian).
36. Boev M.V., Kryazhev D.A., Boev V.M. Effect of environmental factors on the formation of postvaccinal immunity. *Gigiena i sanitariya*, 2014, vol. 93, no. 5, pp. 52–54 (in Russian).
37. Zoran M.A., Savastu R.S., Savastu D.M., Tautan M.N. Assessing the relationship between surface levels of PM_{2.5} and PM₁₀ particulate matter impact on COVID-19 in Milan, Italy. *Sci. Total. Environ.*, 2020, no. 738, pp. 139825. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139825
38. Fattorini D., Regoli F. Role of the chronic air pollution levels in the COVID-19 outbreak risk in Italy. *Environ Pollu-tion*, 2020, no. 264, pp. 114732. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114732
39. Adhikari A., Yin J. Short-term effects of ambient ozone, PM_{2.5}, and meteorological factors on COVID-19 confirmed cases and deaths in Queens, New York. *IJERPH*, 2020, no. 17, pp. 4047. DOI: 10.3390/ijerph17114047

Popova A.Yu., Kuzmin S.V., Zaitseva N.V., May I.V. Priorities in scientific support provided for hygienic activities accomplished by a sanitary and epidemiologic service: how to face known threats and new challenges. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 4–14. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.01.eng

Получена: 20.02.2021

Принята: 20.03.2021

Опубликована: 30.03.2021



Научная статья

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ПОПУЛЯЦИИ В ЛЕГКИХ ЧЕЛОВЕКА

Н.Е. Пиль¹, В.М. Чигвинцев²¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия, 614000, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29²Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

Представлена математическая модель эволюции бактериальной популяции в легких человека с учетом динамики иммунных процессов для задачи оценки функционального повреждения легких. Численное моделирование процессов, происходящих в организме человека, рассматривается как один из инструментов для анализа и прогнозирования влияния факторов риска на здоровье. Представленный подход выполнен в рамках концепции многоуровневой модели организма человека, учитывающей взаимодействия между системами, а также функциональное состояние включенных в рассмотрение органов в условиях воздействия на них неблагоприятных факторов различного генеза. Ввиду сложности прямого моделирования структуры и процессов, происходящих в легких, из-за больших вычислительных ресурсов для описания последних используется модель пористой среды. В модель введена поврежденность легких, определяемая эволюционным уравнением. Уравнение описывает зависимость поврежденности от распределения инфильтрата и действия на клетки альвеол токсических веществ, выделяемых бактериями.

Представлены некоторые результаты, характеризующие пространственное распределение концентраций компонентов иммунной системы и бактериальной популяции в ходе иммунного ответа. Проведенное исследование дает качественное представление о причинах количественного изменения бактериальной популяции при иммунной реакции организма в условиях воздействия различных факторов. Данный подход может быть использован для уточнения параметров существующих популяционных моделей распространения и течения бактериальных инфекций и построения долгосрочного прогноза эпидемиологической ситуации. Получаемые результаты могут быть полезны для проведения анализа риска инфекционных заболеваний, в том числе при воздействии на организм человека неблагоприятных факторов среды обитания.

Ключевые слова: математическое моделирование, иммунный ответ, бактериальная популяция, выделение токсинов, функциональная поврежденность, легкие человека, пористая среда, течение многокомпонентной смеси.

В процессе жизнедеятельности человек постоянно взаимодействует с окружающей средой, получая из нее необходимые вещества и подвергаясь неблагоприятному воздействию. Влияние негативных факторов окружающей среды на протяжении жизни человека приводит к ухудшению его здоровья, одной из причин является инфицирование бактериальной флорой.

В настоящее время существуют различные клиничко-лабораторные и функциональные методы наблюдения за организмом человека, которые дают комплексное представление о текущем состоянии здоровья пациента. Однако полученные данными методами результаты отражают состояние пациента лишь на момент измерения и не позволяют осуществлять прогнозирование [1, 2]. В основе этих мето-

дов лежат анализы пациента, результаты которых сопоставляются с интервалами нормы, на основании чего делаются выводы о состоянии здоровья. Кроме того, многие из методов исследования являются весьма дорогостоящими и трудоемкими.

Качественно отличным подходом для более глубокого изучения и прогнозирования процессов, протекающих в органах человека, представляется математическое моделирование. Многие труднореализуемые натурные исследования могут быть заменены вычислительными экспериментами с использованием математических моделей. Методы математического моделирования позволяют экономить ресурсы и время, изменять начальные условия, анализировать развитие болезни по различным сцена-

© Пиль Н.Е., Чигвинцев В.М., 2021

Пиль Никита Евгеньевич – студент (e-mail: nikitapil32@gmail.com; тел.: 8 (919) 467-49-69; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2312-3006>).

Чигвинцев Владимир Михайлович – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник отдела математического моделирования систем и процессов (e-mail: cvm@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0345-3895>).

риям, что говорит об универсальности подхода: можно использовать одну математическую модель для разных случаев заболевания.

Создание модели эволюции бактериальной популяции в легких человека является частью более общей задачи – создания математической модели для описания человеческого организма как связанной совокупности органов и систем, в которой предлагается для каждого органа ввести некоторую меру функционального повреждения, показывающую, насколько нарушена его функция [3]. Диапазон изменения поврежденности – от 0 до 1 (0 – отсутствие функциональных нарушений, 1 – полное невыполнение функций). Данная модель включает подмодели пищеварительной, иммунной и эндокринной и дыхательной систем [4–6].

Динамику роста и пространственное распределение патогенных микроорганизмов можно описать при помощи популяционных моделей. С точки зрения описания базовых принципов значительный интерес представляет модель Моно [7], в которой численность популяции зависит от наличия питательной среды, и модель Лотки – Вольтерра [8], описывающая конкуренцию популяций. Для описания распределения популяции в пространстве в ряде работ [9–12] используются клеточные автоматы. Моделируемая область дискретизируется, определенным ячейкам присваиваются значения численности популяции и задаются правила перемещения популяции. Недостаток данных моделей заключается в сложности перехода от двумерных задач к трехмерным, а также трудностях биофизической интерпретации правил, по которым работают клеточные автоматы. Среди моделей с непрерывным временем интересными представляются работы [13, 14], в которых рассматриваются процессы эволюции бактериальных популяций, используемых в нефтедобывающей отрасли. Движение бактериальной популяции обуславливается градиентом давления и наличием диффузии. Модель описывается системой дифференциальных уравнений в частных производных.

Основные принципы построения иммунологических моделей описаны в работе [15], в которой рассматривается динамика популяции патогенных микроорганизмов и компонентов иммунной системы. Взаимосвязи между элементами модели строятся по типу «хищник – жертва» и описываются системой нелинейных дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом. Запаздывание вводится для описания пространственных эффектов, которые явным образом в модели не учитываются. В работах [16–18] более подробно описываются механизмы иммунного ответа, однако не учитывается пространственное распределение популяции патогенных микроорганизмов и клеток иммунной системы.

Описание динамики иммунных процессов в легких человека требует учета поведения среды. Существуют различные модели, описывающие легкие человека и дыхательные процессы. В работе [19]

рассматривается реальная геометрия дыхательных путей, однако описание процессов при данном подходе требует больших вычислительных ресурсов. Перспективным направлением к моделированию нижних дыхательных путей представляется использование модели пористой среды и теории фильтрации [6, 20, 21].

Таким образом, многие иммунологические модели не описывают явным образом пространственное распределение исследуемых характеристик в конкретном органе человека. Представляется возможным использовать подходы и методы механики течения многокомпонентных смесей в пористых средах с учетом влияния иммунологических процессов.

Цель работы – построение математической модели эволюции бактериальной популяции в легких человека с учетом динамики иммунных процессов для задачи оценки функционального повреждения легких.

Материалы и методы. Инфекционные заболевания подразумевают проникновение и /или активацию в организме человека патогенных микроорганизмов. В работе рассматривается процесс эволюции бактериальной популяции локализованной в нижних дыхательных путях. Основными характеристиками, описывающими популяцию, являются скорость деления, параметры, определяющие количество питательной среды (субстрата), способность бактерий самостоятельно перемещаться в среде и вырабатывать токсические вещества.

Известно, что организму энергетически выгоднее поддерживать на постоянном уровне концентрацию патологического антигена, нежели выводить его из организма полностью [15]. Рост численности бактериальной популяции начинается в случае ослабления иммунной системы ввиду предшествующего заболевания или проникновения патогенных микроорганизмов из окружающей среды. Одновременно с этим активизируется механизм иммунного ответа. В результате образуются воспаления в местах концентрации бактериальной популяции. Выделения, связанные с реакцией иммунной системы, вызывают уменьшение пропускной способности легких, что снижает поступление кислорода и увеличивает частоту дыхания. Бактерии в ходе своей жизнедеятельности выделяют токсины, которые негативно влияют на клетки альвеол – ухудшают барьерную и транспортную функции.

Описанные процессы протекают в нижних дыхательных путях и легких человека. Легкие представляют собой совокупность воздухоносных каналов, оканчивающихся альвеолами (рис. 1) [22].

В легких взрослого человека содержится около 600–700 млн альвеол, что создает сложности при прямом моделировании всей иерархии дыхательных путей. При этом математическое описание процессов, протекающих в легких, требует больших вычислительных ресурсов. Одним из возможных вариантов преодоления указанных вычислительных

сложностей представляется использование модели пористой среды. Легкие рассматриваются в качестве сплошной насыщенной упруго-деформируемой пористой среды. Деформация возникает из-за сокращения мышц диафрагмы или поднятия ребер, в результате чего объем легких уменьшается, давление увеличивается и происходит выдох. При вдохе, реализуемом при увеличении объема, давление в легких становится ниже атмосферного, поэтому воздух попадает в организм человека. Подробно данный подход описан в работе [6].

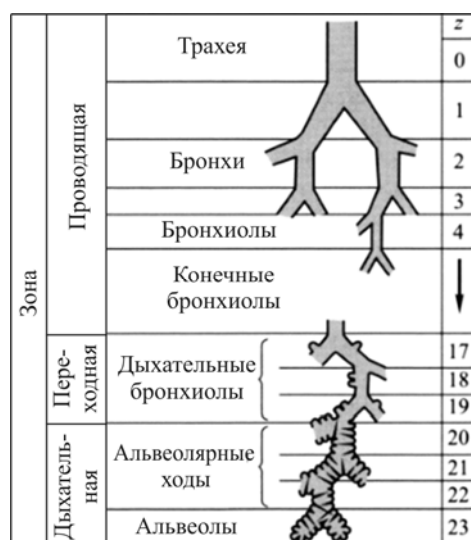


Рис. 1. Дихотомическое деление нижних воздухоносных путей согласно морфометрической модели Вейбеля [22]

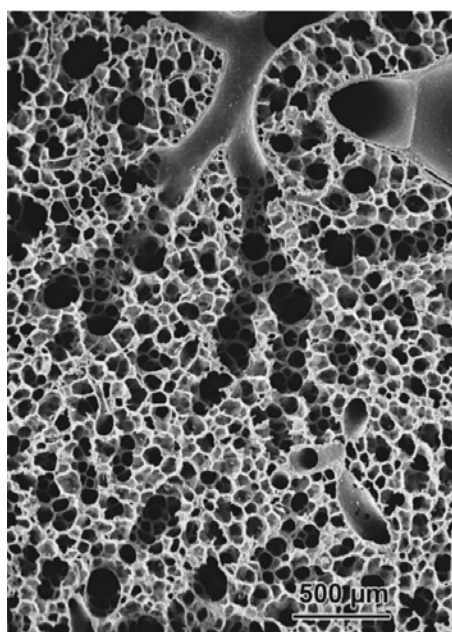


Рис. 2. Увеличенный фрагмент альвеол [23]

Модель пористой среды позволяет заменить детальную структуру альвеол и альвеолярных каналов (рис. 2) параметрами пористости и проницаемости. Пористость – это безразмерная величина, ха-

рактеризующая долю пор в среде, и равная отношению объема пор к общему объему среды, состоящей из пор и деформируемых упругих перегородок. Проницаемостью называют свойство среды пропускать сквозь себя жидкости и газы.

Поврежденность легких изменяется из-за образования инфильтрата в ходе иммунного ответа и влияния токсических веществ, выделяемых бактериями, на клетки альвеол. С точки зрения модели пористой среды в ходе иммунного ответа пористость и проницаемость будут уменьшаться из-за закупорки альвеолярного пространства.

Рассмотрим математическую постановку задачи, для этого запишем уравнение баланса массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = -\nabla \cdot j + S, \quad (1)$$

где ρ – плотность смеси, v – вектор скорости, ∇ – оператор Гамильтона, j – вектор диффузионного потока. Переходя к концентрациям и полагая, что смесь несжимаема, получим

$$\begin{aligned} \frac{dC_i}{dt} &= -\nabla \cdot j_i, \\ j &= -D \nabla C, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + v \cdot \nabla$ – полная производная, D – коэффициент диффузии.

Таким образом, учитывая пористость m , запишем уравнение массопереноса в пористой среде:

$$\frac{\partial(mC)}{\partial t} + mv \cdot \nabla C = \nabla \cdot (mD \nabla C) + S, \quad (3)$$

В первом приближении будем считать, что движения рассматриваемых компонентов обусловлены диффузией за счет градиентов концентрации. Тогда общее уравнение переноса имеет вид:

$$\frac{\partial(mC_i)}{\partial t} = \nabla \cdot (mD_i \nabla C_i) + S_i, \quad (4)$$

где C_i – концентрации бактериальной популяции ($i = 1$), субстрата ($i = 2$), макрофагов ($i = 3$), плазматических клеток ($i = 4$), антител ($i = 5$) и токсинов ($i = 6$) соответственно; S_i – массовый источник i -й компоненты смеси.

Численность бактериальной популяции увеличивается за счет деления и потребления субстрата, уменьшается из-за естественного лизиса, действия макрофагов и антител:

$$S_1 = \mu \frac{C_2}{k_1 + C_2} C_1 - k_2 C_1^2 - \gamma_{13} C_3 C_1 - \gamma_{15} C_5 C_1. \quad (5)$$

Концентрация субстрата уменьшается за счет потребления бактериальной популяций и восстанавливается в результате процессов регенерации:

$$S_2 = -k_3 \mu \frac{C_2}{k_1 + C_2} C_1 + \gamma_2 f \left(1 - \frac{C_2}{C_{2,0}} \right). \quad (6)$$

Изменение концентраций компонентов иммунной системы (макрофагов, плазматических клеток и антител):

$$\begin{aligned} S_3 &= \gamma_{31} \xi C_3 - \alpha_3 C_3, \\ S_4 &= \gamma_4 \xi [\rho_4 C_3 C_4 - C_3 C_4] - \alpha_4 (C_4 - C_{4,0}), \\ S_5 &= \rho_5 \xi C_4 - \eta_5 \gamma_{51} C_5 C_1 - \alpha_5 C_5. \end{aligned} \quad (7)$$

Концентрация токсических веществ пропорциональна концентрации бактериальной популяции и уменьшается за счет естественной нейтрализации:

$$S_6 = \gamma_6 C_1 - \alpha_6 C_6. \quad (8)$$

Уравнения (4)–(8) с начальными и граничными условиями образуют систему уравнений в частных производных, описывающую эволюцию бактериальной популяции в пористой среде.

Функции $\xi = \xi(h)$ описывают влияние поврежденности h на функционирование иммунной системы. Поврежденность увеличивается за счет действия токсических веществ и закупорки альвеол и может уменьшаться за счет самовосстановления:

$$\frac{dh}{dt} = a_1 C_6 + a_2 C_1 - \alpha_h h. \quad (9)$$

С учетом (9) система (4)–(8) представляет собой полную математическую постановку задачи, включающую соотношения для описания изменения концентрации за счет диффузионных процессов, соотношения для массовых источников, возникающих в результате действия иммунного ответа.

Результаты и их обсуждение. Для оценки качества построенной модели проводятся численные эксперименты, которые позволяют получить пространственно-временное распределение концентраций бактериальной популяции и компонентов иммунной системы.

В начальный момент времени полагалось известным распределение и концентрация бактериальной популяции. Учитывалась локализация бактериальной популяции, начальное распределение показано на рис. 3. Рассматривается распространение концентрации бактериальной популяции в объеме пористой среды. Рассмотренный сценарий описывает гибель бактериальной популяции.

Концентрации компонентов иммунной системы распределены равномерно внутри моделируемой области. Распределение концентрации токсинов в начальный момент времени совпадает с распределением бактериальной популяции.

На рис. 4 показано пространственное распределение концентрации бактериальной популяции в

ходе иммунного ответа. С течением времени бактериальная популяция распространяется в объеме, увеличивая свою численность. Затем включается механизм иммунного ответа и в момент времени (time = 9 day) можно видеть уменьшение численности популяции, обусловленное действиями макрофагов и антител.

На рис. 5, а, представлены интегральные кривые численности популяций клеток иммунной системы и бактериальной популяции. Из полученных результатов видно, что бактериальная популяция начинает интенсивный рост, что приводит к генерации и росту численности популяций клеток иммунного ответа, происходит нейтрализация патогенных микроорганизмов, и численность бактериальной популяции начинает уменьшаться.

В работе рассмотрен также сценарий выживания бактериальной популяции, что может привести к гибели органа ввиду невозможности выполнять основные функции. При этом сценарии численность бактериальной популяции начинает бесконтрольно увеличиваться, что говорит о неспособности иммунного ответа нейтрализовать патогенную флору. Интегральные кривые численности компонентов иммунной системы и бактериальной популяции представлены на рис. 5, б.

Рассмотренные сценарии отличались параметрами, характеризующими состояние иммунной системы, и параметрами, описывающими бактериальную популяцию. Текущие результаты показывают качественную картину течения иммунных процессов при бактериальном заболевании в легких человека. Стоит отметить, что разрабатываемые модели во многом индивидуальны и зависят от особенностей конкретного организма: возраста, текущего состояния иммунной системы, генетики, перенесенных заболеваний.

Полученные результаты качественно согласуются с описанными в работах [14, 18].

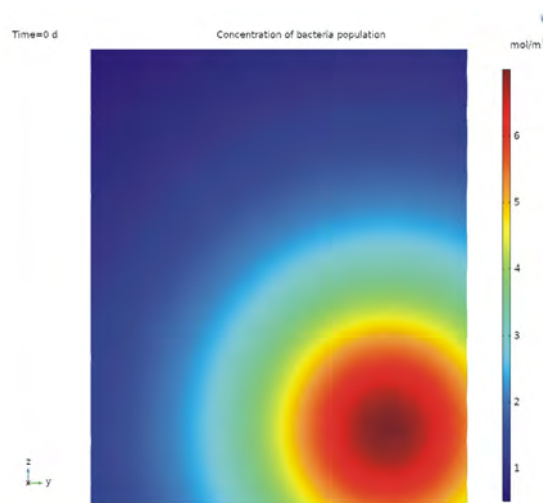


Рис. 3. Начальное распределение концентрации бактериальной популяции

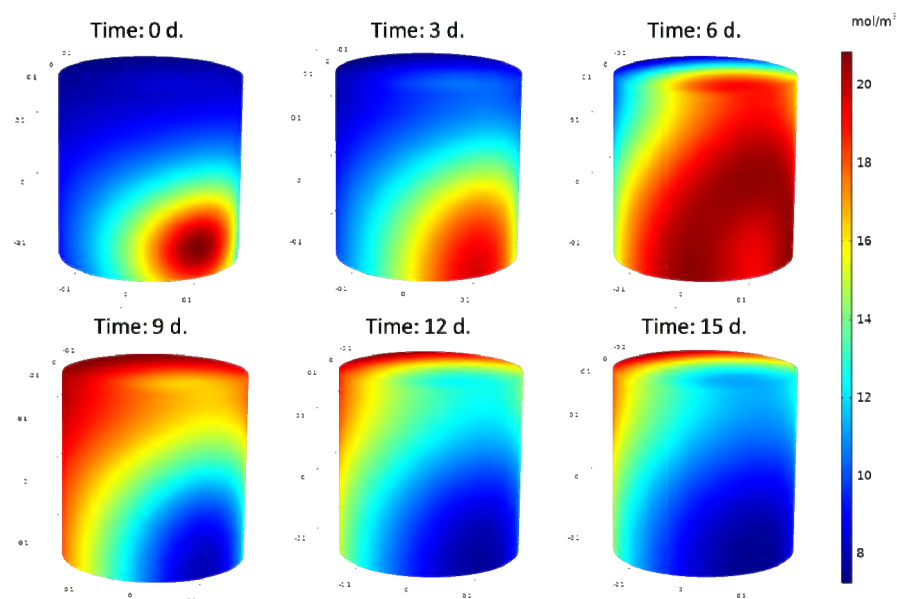


Рис. 4. Распределение концентрации бактериальной популяции в пористой среде

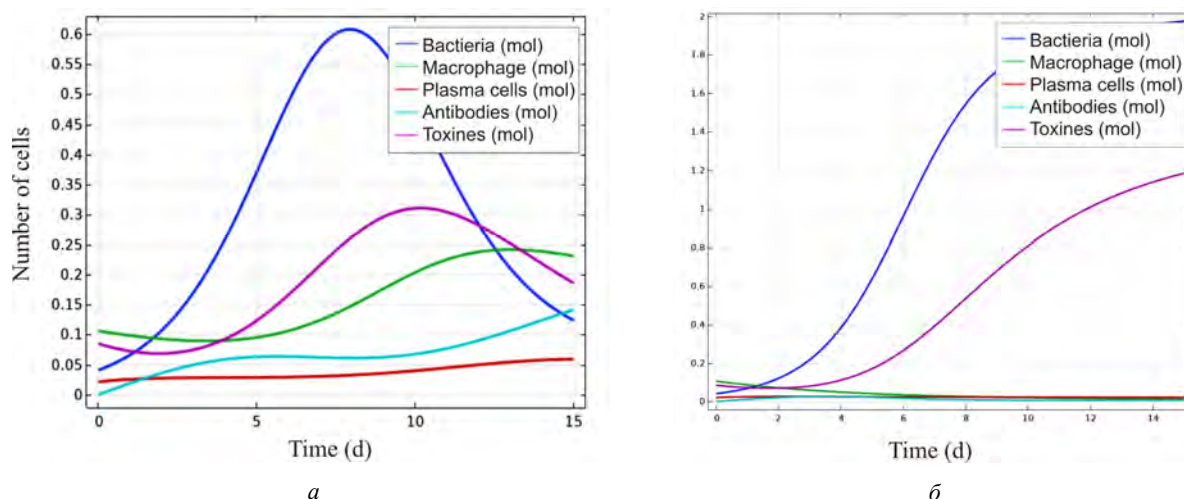


Рис. 5. Интегральные оценки концентраций компонентов иммунной системы и бактериальной популяции в рассматриваемом объеме пористой среды: *a* – гибель бактериальной популяции; *б* – выживание бактериальной популяции

Выводы. В работе рассмотрена модель для описания эволюции бактериальной популяции в легких человека. Представлены концептуальная и математическая постановки. Получены результаты численных экспериментов, описывающих сценарии гибели и выживания бактериальной популяции. Характер течения иммунных процессов определяется состоянием организма и особенностями бактериальной популяции.

В дальнейшем планируется учесть влияние процесса дыхания на перенос клеток бактериальной популяции, расширение набора элементов иммунного ответа. Планируется проведение численных исследований по влиянию поврежденности на функционирование иммунной системы в легких человека.

Представленные результаты можно считать вносящими определенный вклад в развитие методов

математического моделирования для описания процессов иммунного ответа и физики течения многокомпонентных смесей в пористых средах. Для практического использования целесообразно расширить список компонентов иммунной системы и их взаимосвязей. Одним из перспективных направлений развития модели является идентификация параметров и исследование модели на предмет обнаружения новых закономерностей в иммунных процессах.

Благодарности. Авторы благодарят профессора Петра Валентиновича Трусова за научное консультирование и ценные замечания по тексту статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Гребенев А.Л. Пропедевтика внутренних болезней. – М.: Медицина, 2001. – 592 с.
2. Шкляр Б.С. Диагностика внутренних болезней. – Киев: Высшая школа, 1972. – 516 с.
3. Математическая модель эволюции функциональных нарушений в организме человека с учетом внешне средовых факторов / П.В. Трусов, Н.В. Зайцева, Д.А. Кирьянов, М.Р. Камалтдинов, М.Ю. Цинкер, В.М. Чигвинцев, Д.В. Ланин // Математическая биология и биоинформатика. – 2012. – Т. 7, № 2. – С. 589–610.
4. К оценке дополнительного риска заболеваний желудочно-кишечного тракта, ассоциированных с дисбиозом кишечной микрофлоры вследствие воздействия остаточных концентраций тетрациклина в пищевых продуктах / Н.В. Зайцева, П.З. Шур, А.И. Аминова, Д.А. Кирьянов // Здоровье населения и среда обитания. – 2012. – Т. 232, № 7. – С. 46–48.
5. Регуляция противовирусного иммунного ответа организма: математическая модель, качественный анализ, результаты / П.В. Трусов, Н.В. Зайцева, В.М. Чигвинцев, Д.В. Ланин // Математическая биология и биоинформатика. – 2018. – Т. 13, № 2. – С. 402–425.
6. Трусов П.В., Зайцева Н.В., Цинкер М.Ю. О моделировании течения воздуха в легких человека: конститутивные соотношения для описания деформирования пористой среды // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2020. – № 4. – С. 165–174.
7. Monod J. The growth of bacterial cultures // Annual Review of Microbiology. – 1949. – Vol. 3. – P. 371–394. DOI: 10.1146/annurev.mi.03.100149.002103
8. Limit cycles of Norwegian lemmings: tensions between phase-dependence and density-dependence / E. Framstad, N.C. Stenseth, O.N. Bjornstad, W. Falck // Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. – 1997. – Vol. 264, № 1378. – P. 31–38. DOI: 10.1098/rspb.1997.0005
9. Бутов А.А., Егоров А.Г. Модель динамики численности однотипной популяции в пространстве и времени // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2015. – Т. 64, № 4–3. – С. 121–127.
10. Hong M., Xiaojuan Z. Microbial growth modeling and simulation based on cellular automata // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 6, № 11. – P. 2061–2066. DOI: 10.19026/RJASET.6.3824
11. Modeling evolution of spatially distributed bacterial communities: a simulation with the haploid evolutionary constructor / A.E. Klimenko, Y.G. Matushkin, N.A. Kolchanov, S.A. Lashin // BMC Evolutionary Biology. – 2015. – Vol. 15, № 1. – P. 1–11. DOI: 10.1186/1471-2148-15-S1-S3
12. 3D individual based for bacteria growth and spatial interactions: application to the case of *Listeria Monocytogenes* and *Carnobacterium piscicola* / F. Harrouet, G. Desmeulles, P. Redou, L. Guabert // Jan Van Impe. Food Sim. – 2016. – P. 6.
13. Гинак А.И., Кузнецова С.Н., Милованович Е.В. Моделирование биохимических процессов в призабойной зоне скважины // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института. – 2012. – Т. 41, № 15. – С. 82–83.
14. Холодонов В.А., Лукина М.В., Милованович Е.В. Моделирование биотехнологических и фильтрационных процессов повышения нефтеотдачи пластов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института. – 2011. – Т. 37, № 11. – С. 69–71.
15. Марчук Г.И. Математические модели в иммунологии. Вычислительные методы и эксперименты. – М.: Наука, 1991. – 304 с.
16. Левченко О.Ю. Математическое моделирование противобактериального иммунного ответа // Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 66. – С. 60–71.
17. Smith A.M., McCullers J.A., Adler F.R. Mathematical model of a three-stage innate immune response to a pneumococcal lung infection // Journal of Theoretical Biology. – 2011. – Vol. 7, № 276 (1). – P. 106–116. DOI: 10.1016/j.jtbi.2011.01.052
18. Кузнецов С.Р. Математическая модель иммунного ответа // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. – 2015. – № 4. – С. 72–87.
19. Lambert A.R. Regional deposition of particles in an imagebased airway model: CFD simulation and left-right lung ventilation asymmetry. – Iowa: University of Iowa, 2010. – P. 68.
20. De Groot C.T., Straatman A.G. A conjugate fluid-porous approach for simulating airflow in realistic geometric representations of the human respiratory system // Journal of Biomechanical Engineering. – 2016. – Vol. 138, № 3. – P. 4032113. DOI: 10.1115/1.4032113
21. DeGroot C.T., Straatman A.G. Towards a porous media model of the human lung // 4th International Conference on Porous Media and its Applications in Science: AIP Conference Proceedings. – 2012. – Vol. 1453, № 1. – P. 69–74. DOI: 10.1063/1.4711155
22. Вейбель Э.Р. Морфометрия легких человека. – М.: Медицина, 1970. – 175 с.
23. Weibel E.R. What makes a good lung? // Swiss Med. Wkly. – 2009. – Vol. 139, № 27–28. – P. 375–386.

Пиль Н.Е., Чигвинцев В.М. Численное моделирование эволюции бактериальной популяции в легких человека // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 15–22. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.02

UDC 51-76

DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.02.eng

Read
online

Research article

NUMERIC MODELING OF BACTERIA POPULATION EVOLUTION IN HUMAN LUNGS

N.E. Pil¹, V.M. Chigvintsev²¹Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomolskiy Ave., Perm, 614990, Russian Federation²Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

The present work focuses on building up a mathematical model showing bacteria population evolution in human lungs taking into account dynamics of immune processes; the model would be useful for assessing functional damage to the lungs. Numeric modeling of processes that occur in a human body is a promising tool for analyzing and predicting impacts exerted by risk factors on health. The suggested approach was developed within a concept describing a human body as a multi-level model that allowed for interaction between various systems and functional state of examined organs given effects produced on them by different adverse factors. Since direct modeling of the structure and processes occurring in the lungs is rather complicated, these organs are usually described with a porous medium model and it requires a lot of computing resources. Damage to the lungs determined via an evolution equation was introduced into the model. The equation described dependence between damage and infiltrate distribution and effects produced on alveolar cells by toxicants excreted by bacteria.

The work dwells on certain results that characterize how concentrations of immune system components and bacteria population are spatially distributed when an immune response is evolving. Our research provides a qualitative insight into reasons for quantitative changes in bacteria population under immune reactions occurring in a body under exposure to different factors. This approach can be used for obtaining more precise parameters for existing population models that show spread and clinical course of bacterial infections and for making a long-term prediction of an epidemiological situation. Results obtained with this approach can be useful for analyzing risks of communicable diseases including those occurring under exposure to adverse environmental factors.

Key words: mathematical modeling, immune response, bacteria population, toxin extraction, functional damage, human lungs, porous medium, multi-component mixture flow.

References

1. Grebenev A.L. Propedevtika vnutrennikh boleznei [Preliminary study of internal diseases]. Moscow, Meditsina Publ., 2001, 592 p. (in Russian).
2. Shklyar B.S. Diagnostika vnutrennikh boleznei [Internal diseases diagnostics]. Kiev, Vysshaya shkola Publ., 1972, 516 p. (in Russian).
3. Trusov P.V., Zaitseva N.V., Kir'yanov D.A., Kamaltdinov M.R., Tsinker M.Yu., Chigvintsev V.M., Lanin D.V. A mathematical model for evolution of human functional disorders influenced by environment factors. *Matematicheskaya biologiya i bioinformatika*, 2012, vol. 7, no. 2, pp. 589–610 (in Russian).
4. Zaitseva N.V., Shur P.Z., Aminova A.I., Kir'yanov D.A. To estimate the additional risk of diseases of the gastrointestinal tract associated with dysbiosis of the intestinal microflora due to the impact of tetracycline residues in foods. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2012, vol. 232, no. 7, pp. 46–48 (in Russian).
5. Trusov P.V., Zaitseva N.V., Chigvintsev V.M., Lanin D.V. Regulation of organism's antiviral immune response: mathematical model, qualitative analysis, results. *Matematicheskaya biologiya i bioinformatika*, 2018, vol. 13, no. 2, pp. 402–425 (in Russian).
6. Trusov P.V., Zaitseva N.V., Tsinker M.Yu. On modeling of airflow in human lungs: constitutive relations to describe deformation of porous medium. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika*, 2020, no. 4, pp. 165–174 (in Russian).
7. Monod J. The growth of bacterial cultures. *Annual Review of Microbiology*, 1949, vol. 3, pp. 371–394. DOI: 10.1146/annurev.mi.03.100149.002103
8. Framstad E., Stenseth N.C., Bjornstad O.N., Falck W. Limit cycles of Norwegian lemmings: tensions between phase-dependence and density-dependence. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 1997, vol. 264, no. 1378, pp. 31–38. DOI: 10.1098/rspb.1997.0005

© Pil N.E., Chigvintsev V.M., 2021

Nikita E. Pil – Student (e-mail: nikitapil32@gmail.com; tel.: +7 (919) 467-49-69; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2312-3006>).Vladimir M. Chigvintsev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Researcher at Mathematic Modeling of Systems and Processes Department (e-mail: cvm@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0345-3895>).

9. Butov A.A., Egorov A.G. The model of one-type population dynamics in space and time. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, vol. 64, no. 4–3, pp. 121–127 (in Russian).
10. Hong M., Xiaojuan Z. Microbial growth modeling and simulation based on cellular automata. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2013, vol. 6, no. 11, pp. 2061–2066. DOI: 10.19026/RJASET.6.3824
11. Klimenko A.E., Matushkin Y.G., Kolchanov N.A., Lashin S.A. Modeling evolution of spatially distributed bacterial communities: a simulation with the haploid evolutionary constructor. *BMC Evolutionary Biology*, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 1–11. DOI: 10.1186/1471-2148-15-S1-S3
12. Harrouet F., Desmeulles G., Redou P., Guabert L. 3D individual based for bacteria growth and spatial interactions: application to the case of *Listeria Monocytogenes* and *Carnobacterium Piscicola*. *Jan Van Impe. Food Sim*, 2016, 6 p.
13. Ginak A.I., Kuznetsova S.N., Milovanovich E.V. Simulation of biochemical processes in oil extraction well face zone. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta*, 2012, vol. 41, no. 15, pp. 82–83 (in Russian).
14. Kholodonov V.A., Lukina M.V., Milovanovich E.V. Modelirovanie biotekhnologicheskikh i fil'tratsionnykh protsessov povysheniya nefteotdachi plastov [Modeling biotechnological and filtration processes related to a growth in recoverable oil]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta*, 2011, vol. 37, no. 11, pp. 69–71 (in Russian).
15. Marchuk G.I. Matematicheskie modeli v immunologii. Vychislitel'nye metody i eksperimenty [Mathematical models in immunology. Computational approaches and experiments]. Moscow, Nauka Publ., 1991, 304 p. (in Russian).
16. Levchenko O.Yu. Mathematical modeling of antibacterial immune reaction. *Politematicheskii setevoy elektronnyi nauchnyi zhurnal kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, no. 66, pp. 60–71 (in Russian).
17. Smith A.M., McCullers J.A., Adler F.R. Mathematical model of a three-stage innate immune response to a pneumococcal lung infection. *Journal of Theoretical Biology*, 2011, vol. 7, no. 276 (1), pp. 106–116. DOI: 10.1016/j.jtbi.2011.01.052
18. Kuznetsov S.R. Mathematical model of the immune response. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Prikladnaya matematika. Informatika. Protsessy upravleniya*, 2015, no. 4, pp. 72–87 (in Russian).
19. Lambert A.R. Regional deposition of particles in an image based airway model: CFD simulation and left-right lung ventilation asymmetry. Iowa, University of Iowa Publ., 2010, 68 p.
20. De Groot C.T., Straatman A.G. A conjugate fluid-porous approach for simulating airflow in realistic geometric representations of the human respiratory system. *Journal of Biomechanical Engineering*, 2016, vol. 138, no. 3, pp. 4032113. DOI: 10.1115/1.4032113
21. DeGroot C.T., Straatman A.G. Towards a porous media model of the human lung. *4th International Conference on Porous Media and its Applications in Science: AIP Conference Proceedings*, 2012, vol. 1453, no. 1, pp. 69–74. DOI: 10.1063/1.4711155
22. Veibel' E.R. Morfometriya legkikh cheloveka [Human lungs morphometry]. Moscow, Meditsina Publ., 1970, 175 p. (in Russian).
23. Weibel E.R. What makes a good lung? *Swiss Med. Wkly*, 2009, vol. 139, no. 27–28, pp. 375–386.

Pil N.E., Chigvintsev V.M. Numeric modeling of bacteria population evolution in human lungs. Health Risk Analysis, 2021, no. 1, pp. 15–22. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.02.eng

Получена: 01.03.2021

Принята: 19.03.2021

Опубликована: 30.03.2021

УДК 616.24: 578.834.1]: 519.24
DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.03

Читать
онлайн



Научная статья

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭПИДЕМИИ COVID-19

В.Л. Соколовский¹, Г.Б. Фурман¹, Д.А. Полянская², Е.Г. Фурман²

¹ Университет имени Бен Гуриона, Израиль, 84105, г. Беер-Шева, Р.О.В., 653

² Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера, Россия, 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 26

В осенне-зимний период 2020–2021 гг. наблюдался рост заболеваемости COVID-19. В отсутствии эффективных лекарств и только в начале массовой вакцинации против COVID-19 карантин (ограничения передвижения и контактов между гражданами), применение индивидуальных защитных средств являются основными средствами приостановления распространения заболевания.

Проанализированы развитие эпидемии и влияние карантинных мер на распространение заболевания с использованием различных математических моделей. Показано, что простые модели типа SIR (S – восприимчивые, I – инфицированные, R – выбывшие из группы инфицированных) позволяют оценить параметры модели, такие как коэффициенты заболеваемости и выздоровления, которые могут быть использованы в более сложных моделях.

Рассмотрены пространственно-временные эпидемиологические модели, основанные на решении нестационарных двухмерных реакционно-диффузионных уравнений. Такие модели позволяют учитывать неравномерное распределение населения, изменение мобильности населения и частоты контактов типа «восприимчивый – инфицированный» из-за карантинных мер. Используя полученные аналитические и численные решения, анализируются различные стадии эпидемии, а также ее волнообразный характер, вызванный введением и ослаблением карантинных мер.

Для учета конечной скорости распространения заболевания и инкубационного периода (когда инфицированный не является источником заражения) предложено использовать уравнения типа Каттанео – Вернотте. Данная модель предсказывает возникновение фронта распространения заболеваемости, то есть подвижной границы, разделяющей области с инфицированными, и те, где таковые отсутствуют. Использование таких моделей позволяет более объективно вводить дифференцированные карантинные меры.

В конце 2020 г. в ряде стран началась массовая вакцинация населения. В связи с этим определен необходимый уровень вакцинации населения для предотвращения новых волн эпидемии COVID-19, соответствующий 80 %.

Актуальность корректного прогнозирования развития эпидемий возрастает в настоящее время из-за появления новых, более контагиозных штаммов вирусов COVID-19 в Англии, ЮАР и ряде других стран.

Результаты исследования могут быть использованы для прогнозирования распространения COVID-19 и других инфекционных заболеваний и способствовать принятию наиболее эффективных мер для успешной борьбы с эпидемиями.

Ключевые слова: пространственно-временное моделирование, эпидемия, COVID-19, заболеваемость, нестационарные двухмерные реакционно-диффузионные уравнения, карантин, скорость заражения, скорость выздоровления.

Исследователи предсказывали рост заболевания COVID-19 зимой 2020–2021 гг. [1]. Осенью 2020 г. наблюдается интенсивный рост числа заболевших COVID-19 в мире, вторая волна эпидемии. В некоторых странах Европы и регионах России повторно вводились карантинные меры. В Израиле повторный резкий рост заболеваемости наблюдался

в конце августа – сентябре, и только введение строгого карантина в конце сентября, который действовал в течение всего октября, позволило сократить число ежедневно заболевающих, тяжело больных, находящихся в больницах, а также пациентов, подключенных к аппаратам искусственной вентиляции легких.

© Соколовский В.Л., Фурман Г.Б., Полянская Д.А., Фурман Е.Г., 2021

Соколовский Владимир Львович – кандидат наук, профессор кафедры физики (e-mail: sokolovv@bgu.ac.il; тел.: +9 (725) 464-703-40; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4887-413X>).

Фурман Григорий Борисович – кандидат наук, профессор кафедры физики (e-mail: gregoryf@bgu.ac.il; тел.: +9 (725) 476-842-45; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7303-9414>).

Полянская Дарья Александровна – кандидат медицинских наук, преподаватель кафедры гигиены медико-профилактического факультета (e-mail: daryasp88@gmail.com; тел.: 8 (909) 731-11-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1466-7039>).

Фурман Евгений Григорьевич – член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой факультетской и госпитальной педиатрии (e-mail: furman1@yandex.ru; тел.: 8 (912) 883-97-35; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1751-5532>).

В отсутствии эффективного лекарства и вакцины против COVID-19 карантин, ограничения передвижения и контактов между гражданами, применение защитных средств являются основным средствами ограничения распространения заболевания. С одной стороны, введение карантина снижает число заболевших и нагрузку на систему здравоохранения. С другой стороны, карантин приводит к снижению экономической активности, особенно в области торговли, туризма, культуры и развлечений, а также снижает качество образования и наносит вред психологическому состоянию населения. Введение карантинных мер должно базироваться на анализе распространения заболевания и математических моделях, учитывающих специфические особенности заболевания и способных предсказать его распространение. Разработанные методы математического моделирования важны не только для предсказания распространения COVID-19 и должны способствовать принятию наиболее эффективных мер, но необходимы и для успешной борьбы с будущими эпидемиями.

Различные математические модели развития эпидемий были разработаны и применены при анализе распространения различных заболеваний (тиф, холера, Эбола и т.д.) [2–7]. Эти модели, а также ряд новых, учитывающих особенности COVID-19, были использованы для моделирования развития эпидемии COVID-19 [8–15]. С начала эпидемии COVID-19 более 11 тысяч статей, посвященных различным аспектам заболевания, включая статистику и анализ его распространения, были опубликованы в научных журналах и на специализированных сайтах, архивах *medRxiv*, *bioRxiv* и *arXiv*. Большинство моделей базируются на SIR-модели (S – восприимчивые, I – инфицированные, R – выбывшие из группы инфицированных) эпидемии и ее модификациях.

Эти модели основаны на предположении, что восприимчивые, инфицированные и выздоровевшие распределены пространственно-равномерно. В действительности эти группы населения даже в небольших странах и мегаполисах распространены крайне неравномерно. Предложен ряд моделей, учитывающих неравномерное пространственное распределение восприимчивых и инфицированных [2, 4, 7]. Одним из классов таких моделей являются реакционно-диффузионные эпидемиологические модели, в которых распространение заболевания описывается системой уравнений теплопроводности с химической реакцией. Однако эти модели не учитывают естественную ежедневную миграцию населения (дом, работа, посещение учебных и культурных учреждений и т.д.). Другим недостатком является предположение, что вирус от заболевших людей передается мгновенно и одновременно переводит восприимчивых в группу инфицированных и, как результат этого, бесконечная скорость распространения заболевания.

Целью настоящей работы является анализ распространенности эпидемии COVID-19 с использованием различных эпидемиологических матема-

тических моделей. Пространственно-временное моделирование эпидемии базируется на аналитических и численных решениях нестационарных двухмерных реакционно-диффузионных уравнений, а также этих уравнений, моделирующих временную задержку заболевания.

Материалы и методы. В разделе 1 используется SIR-модель и статистические данные для определения коэффициентов заболеваемости и выздоровления. Рассматривая их зависимость от времени, моделируется волнообразный характер эпидемии, вызванный введением и отменой карантинных мер. В следующем разделе показано, что определенные с помощью SIR-модели коэффициенты заболеваемости и выздоровления могут применяться в реакционно-диффузионных эпидемиологических моделях, кроме того, осуществлен анализ двумерного распространения заболевания. В разделе 3 модернизированы реакционно-диффузионные эпидемиологические модели, что позволило моделировать пространственно-временное развитие эпидемии с учетом ежедневной миграции населения. В разделе 4 впервые предложена реакционно-диффузионная эпидемиологическая модель с конечным временем заражения. Данная модель предсказывает возникновение фронта распространения заболевания, то есть подвижной границы, разделяющей области с инфицированными лицами и те, где таковые отсутствуют.

Результаты и их обсуждение.

1. SIR-модель эпидемии. Рассмотрим простейшую модель SIR, которая позволяет в первом приближении оценить динамику эпидемии COVID-19 и является основой для разработки более точных моделей. В рамках SIR-модели эпидемии население разделяется на непересекающиеся группы, численность которых изменяется со временем [2–4, 6, 9]. В группу восприимчивых лиц входит часть населения, которая подтверждена заражением, но еще не болеет. Численность восприимчивых $S(t)$ убывает за счет тех, кто заразился; группа инфицированных $I(t)$ убывает за счет тех, кто выздоровел или умер ($R(t)$). Предполагается, что выздоровевшие обладают иммунитетом, переход из одной группы в другую не зависит от возраста, пола, социального статуса и т.д.

Основными базовыми предположениями при использовании данной модели являются следующие:

- каждый из группы восприимчивых контактирует с инфицированным и имеет определенную вероятность заражения, не зависящую от времени;
- скорость заражения пропорциональна количеству инфицированных индивидуумов, а также количеству восприимчивых;
- каждый инфицированный, в свою очередь, имеет постоянную вероятность выздоровления в единицу времени;
- скорость выздоровления пропорциональна количеству инфицированных лиц;
- выздоровевший обладает иммунитетом и невосприимчив к повторному заражению.

Уравнения SIR-модели удобно записать в виде:

$$\frac{ds}{dt} = -\alpha_1 si, \quad (1)$$

$$\frac{di}{dt} = \alpha_1 si - \alpha_2 i, \quad (2)$$

$$\frac{dr}{dt} = \alpha_2 i, \quad (3)$$

где $s(t) = S(t)/N$, $i(t) = I(t)/N$, $r(t) = R(t)/N$, α_1 и α_2 – коэффициенты заболеваемости и выздоровления соответственно. Эти коэффициенты обычно имеют размерность 1/день (1/д). Здесь предполагается, что численность населения

$$S(t) + I(t) + R(t) = N \quad (4)$$

величина постоянная.

Численное решение уравнений (1)–(3) при $\alpha_1 = 0,4$ 1/д, $\alpha_2 = 0,1$ 1/д и начальных условиях $s(0) = 1$, $i_0 = i(0) = 10^{-6}$ и $r(0) = 0$ приведено на рис. 1.

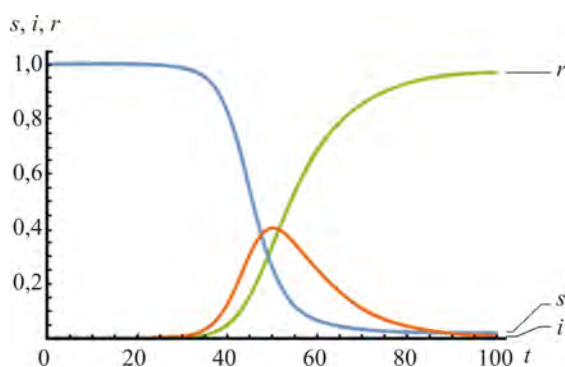


Рис. 1. Решение уравнений (1)–(3) при $R_0 = 4$, $\alpha_1 = 0,4$ 1/д и $\alpha_2 = 0,1$ 1/д

$i(0) = 10^{-6}$ для таких стран, как Израиль, Греция, Швеция, а также для мегаполисов (Москва, Санкт-Петербург) означает, что эпидемия началась примерно с 10 зараженных. Начальное число зараженных $i(0)$ (нулевых пациентов) не влияет на максимальное число инфицированных i_m и переболевших к концу эпидемии $r_f = r(t)|_{t \rightarrow \infty}$ (см. рис. 1). Эпидемия прекратится естественным путем, когда сформируется коллективный иммунитет, и не будет новых инфицированных. Вариации начального числа зараженных приводят к изменению времени достижения максимума и времени окончания эпидемии.

Параметры α_1 и α_2 определяют скорости роста числа инфицированных $i(t)$ и числа $r(t)$ выздоровевших. В начале эпидемии, когда $i(t) \ll 1$, можно считать $s(t) = 1$. На 30.10.2020 г. в мире всего инфицированных с начала эпидемии около 45,7 млн из

7,8 млрд населения Земли, около 0,6 % (1,2 млн) из них умерли (летальность 2,6 %); в Израиле всего инфицированных около 314 тысяч из 9,5 млн, то есть около 3 %; 2511 заболевших умерли (летальность 0,8 %). Несмотря на то что эпидемия COVID-19 длится уже несколько месяцев и достигнуто громадное число инфицированных и умерших от заболевания COVID-19, приближение $s(t) \approx 1$ выполняется достаточно хорошо. При математическом моделировании можно также считать, что все инфицированные выздоравливают.

В начальной стадии эпидемии решение системы уравнений (1)–(3) имеет вид

$$s(t) \approx 1, \quad (5)$$

$$i(t) = i_0 e^{\alpha_2 (R_0 - 1)t}, \quad (6)$$

$$r(t) = \frac{1}{R_0 - 1} \left[e^{\alpha_2 (R_0 - 1)t} - 1 \right]. \quad (7)$$

Базисное число воспроизведения, сколько людей заражает один инфицированный, $R_0 = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$ является важным параметром, определяющим характер эпидемии, максимальное число инфицированных i_m и переболевших к концу эпидемии r_f (рис. 2) [10].

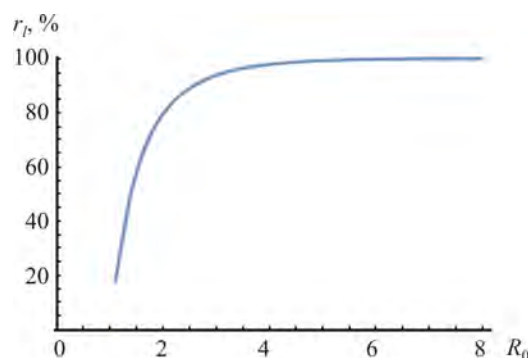


Рис. 2. Число переболевших к концу эпидемии: $r_f = r(t)|_{t \rightarrow \infty}$ как функция R_0 при $\alpha_2 = 0,1$ 1/д и начальных условиях $s(0) = 1$, $i(0) = i_0 = 10^{-6}$ и $r(0) = 0$

При $R_0 < 1$ число инфицированных снижается естественно, без принятия антиэпидемиологических мер; эпидемия затухает.

При $R_0 > 1$ эпидемия будет развиваться до формирования коллективного иммунитета. При низких $R_0 = 1,1$ коллективный иммунитет формируется, когда переболеет около 18 % населения при $\alpha_1 = 0,11$ 1/д, $\alpha_2 = 0,1$ 1/д (см. рис. 2). Этот процент быстро растет с увеличением R_0 , при $R_0 = 3$ достигая 94 %.

Численные расчеты показали, что процент инфицированных (переболевших), необходимый для фор-

мирования коллективного иммунитета, когда количество новых инфицированных около нуля, практически не зависит от параметров α_1 и α_2 , а в основном определяется их отношением. Однако время, необходимое для достижения этого иммунитета, обратно пропорционально этим параметрам: при $\alpha_1 = 0,3$ 1/д и $\alpha_2 = 0,1$ 1/д время оценивается как 130 дней, при $\alpha_1 = 0,03$ 1/д и $\alpha_2 = 0,01$ 1/д – как 1300 дней.

Максимально число инфицированных i_m определяется также базисным числом воспроизведения R_0 , а время его достижения с начала эпидемии – параметрами α_1 и α_2 . Максимальное число инфицированных i_m достигается при $s = \alpha_2/\alpha_1$, и общее число инфицированных – $N(1 - 1/R_0)$. Дальнейшее развитие эпидемии ассоциируется со снижением инфицированных лиц, хотя их число может достигать больших значений (см. рис. 1).

1.1. Оценка параметров модели. Параметры, входящие в SIR и другие модели, невозможно измерить прямо, так как они зависят от многих факторов, таких как плотность населения, ее мобильность, социальные контакты, принятые карантинные меры и степень их соблюдения, возрастной состав населения и т.д. [8–10, 16]. Оценки базируются на статистических данных, их полноте и достоверности, а также установлении их четкой корреляции с «внешними» факторами, такими как введение карантина, сезонные колебания, период отпусков, праздники, каникулы в учебных заведениях, определяющими достоверность полученных оценок. Интенсивность заражения и, следовательно, параметры модели будут зависеть от времени [10, 16, 17]. Приведенные в литературе базисные числа воспроизведения R_0 зависят не только от страны, времени анализа, но и от используемой эпидемиологической модели [10, 17]. Авторы работы [11] оценили базисное число воспроизведения R_0 в начале эпидемии в странах Европы как $4,22 \pm 1,69$, с максимальным значением в Германии $6,33$. К 10 мая 2020 г. это число снизилось до $0,67 \pm 0,18$. В октябре наблюдается новый рост заболеваемости, то есть вторая волна эпидемии [10].

Используя данные, приведенные на сайте Worldometers, который позволяет по дням отслеживать число инфицированных, выздоровевших и умерших, мы оценим параметры SIR-модели для Израиля [18]. В начале эпидемии, с 1 по 30 марта, количество подтвержденных инфицированных $i(t)$ растет с 10 до 5114 (рис. 3); выздоровевших за этот период 244, то есть меньше 5 %. Параметр α_1 , темп роста числа инфицированных, оценивается как $0,21 \pm 0,09$; число инфицированных удваивается примерно за три дня. Эта оценка хорошо совпадает с величинами, приведенными для Израиля и Франции [16, 17].

Параметр $\alpha_2 = 0,045 \pm 0,03$, темп выздоровления, оценивается на основе данных, полученных после введения жестких карантинных мер с 4 по 27 мая, ко-

гда количество подтвержденных инфицированных $i(t)$ составляло несколько тысяч, а среднее дневное число новых заболевших не превышало 30. Характерное время выздоровления, уменьшение инфицированных в два раза составляет 15,5 дня. В дальнейшем предположим, что параметр α_2 не меняется в течение пандемии.

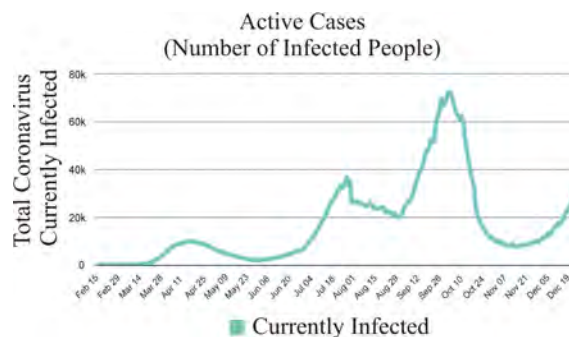


Рис. 3. Временная зависимость числа инфицированных $i(t)$ в Израиле [8]

Ослабление карантинных мер сопровождается второй волной эпидемии – экспоненциальный рост инфицированных с показателем, зависящем от времени: 2–22 июня – $0,04$ 1/день; 22–27 июня – $0,045$ 1/день; 27 июня – 8 июля – $0,079$ 1/день. Учитывая, что показатель роста инфицированных $\alpha_1 - \alpha_2$, параметр α_1 для этих временных интервалов оценивается как $0,085$; $0,09$ и $0,124$ соответственно.

В начале эпидемии R_0 можно оценить как $4,5$ без принятия карантинных мер и мер индивидуальной и социальной защиты. При таком большом значении R_0 коллективный иммунитет сформируется, когда переболеет больше 95 % населения (см. рис. 2).

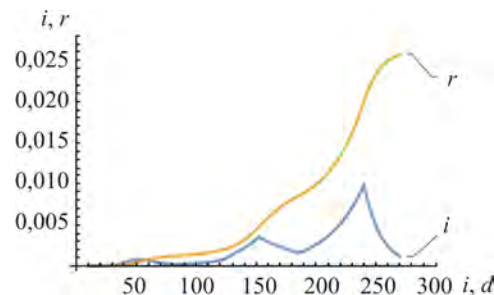


Рис. 4. Моделирование пандемии в Израиле

Это значение порога достижения коллективного иммунитета хорошо согласуется с предсказаниями, сделанными в других работах [19]. Некоторые исследователи предполагают, что R_0 убывает со временем, и порог будет значительно ниже, однако не меньше десятков процентов (сейчас зарегистрированных больных и переболевших около 3 %) [10, 17, 19]. В начале второй волны эпидемии 2–22 июня $R_0 = 1,9$; и растет с развитием пандемии: 22–27 июня – $R_0 = 2$; 27 июня – 8 июля – $R_0 = 2,8$.

После 8 июля наблюдаются сильные дневные колебания, которые не позволяют достоверно оценить параметры. В следующей части мы будем ис-

пользовать эффективные значения для больших временных интервалов.

1.2. Волнообразная пандемия. Результаты моделирования пандемии в Израиле на основе решения уравнений (1)–(3) приведены на рис. 4, и симуляция достаточно хорошо соответствует развитию заболеваемости (рис. 3). Начало эпидемии характеризуется экспоненциальным ростом числа инфицированных со временем $\sim \exp(\alpha t)$ до введения строгого карантина в начале апреля и экспоненциального снижения их числа в мае, $\alpha = \alpha_1 - \alpha_2 < 0$. Поэтапная отмена карантинных мер в конце мая – начале июня привела к росту числа инфицированных с растущим со временем параметром $\alpha_1 \approx 0,1$. Летний период (июль–август), каникулы в учебных заведениях, неполная отмена карантинных мер, период отпусков – способствуют снижению этого числа. Начало учебного года связано с очередным ростом числа инфицированных с $\alpha_1 \approx 0,09$. И только повторное введение строжайших карантинных мер в конце сентября привело к снижению распространения заболевания.

В ноябре в Израиле постепенно отменяют карантинные меры. Прогнозировать последующее развитие эпидемии можно, исходя из значений параметра α_1 для июня–июля и сентября. Эти значения существенно ниже, чем в начале пандемии, – $0,21 \pm 0,09$. Это объясняется ношением санитарных масок в общественных местах, отменой массовых мероприятий, дистанционным обучением и т.д. На рис. 5 приведены результаты моделирования. Из данных рисунка видим, что небольшое изменение параметра α_1 приводит к значительному изменению результатов. Так, $\alpha_1 = 0,09$ – порог числа инфицированных лиц (около 75 тысяч), при котором был объявлен второй карантин, достигается за 52 дня, а при $\alpha_1 = 0,1$ – за 42 дня. Коридор возможного развития пандемии показан на рис. 5.

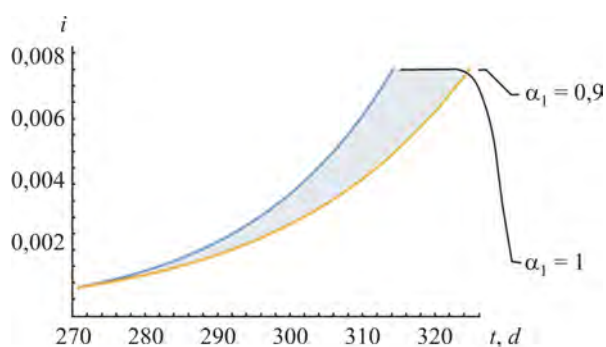


Рис. 5. Прогнозирование пандемии

В 20-х числах октября начали поэтапно отменять карантинные меры: происходит открытие непродовольственных магазинов, торговых центров, возвращение к фронтальным занятиям в школах и т.д. В середине ноября начался (см. рис. 3) новый экспоненциальный рост инфицированных, и за 20 дней их количество достигло 17 500, за 30 дней – превы-

сило 30 тысяч, через 40 дней – около 49 тысяч. Наши предсказания хорошо согласуются со значениями, представленными на рис. 3.

28 декабря в Израиле объявлен третий lockdown (строгий карантин).

Простейшая модель SIR содержит два параметра, α_1 и α_2 , которые зависят от многих факторов (типа заболевания, плотности населения, его возрастного состава, мобильности и т.д.) и в общем случае от времени. Эти параметры определяются, исходя из развития эпидемии для данной страны, области, города. Модель SIR позволяет по крайней мере в первом приближении оценить распространение заболевания, нагрузку на врачебные учреждения, необходимое количество койко-мест в больницах и ожидаемую смертность. Последние могут быть оценены как соответствующие проценты от инфицированных. Однако эта модель не учитывает реальный процесс протекания болезней и такие факторы, как инкубационный период, непосредственный период болезни, различные формы протекания болезни, возрастные различия и т.д. Был предложен ряд более реалистичных моделей, учитывающих указанные и другие факторы, а также специфические особенности разных заболеваний [4–12, 17, 20, 21]. Эти модели базируются на предположении, что восприимчивые, инфицированные и выздоровевшие индивидуумы распределены пространственно-равномерно, и пандемия описывается решением обычных дифференциальных уравнений типа (1)–(3). В действительности инфицированные, даже в такой небольшой стране, как Израиль, распространены крайне неравномерно, непропорционально плотности населения. Даже в крупных городах выделяются районы с разным уровнем заболеваемости. Предложен ряд моделей, учитывающих неравномерное пространственное распределение восприимчивых, инфицированных и других лиц [2, 21–23]. К одному из классов таких моделей относятся реакционно-диффузионные эпидемиологические модели [2, 4, 7, 22].

2. Реакционно-диффузионная эпидемиологическая модель. Математическое описание реакционно-диффузионных эпидемиологических моделей содержит систему уравнений в частных производных типа уравнений, описывающих диффузию с химической реакцией [2, 4, 7, 22]. Количество уравнений и явный вид членов соответствующих реакций зависят от выбранной модели передачи инфекции, количества рассматриваемых групп населения, разделенных по возрасту и деятельности (школьники, работающие, пенсионеры и т.д.). Параметры реакционно-диффузионной модели типа диффузионных коэффициентов характеризуют мобильность данной группы населения. Некоторые авторы учитывают естественное изменение численности населения за счет рождаемости и смертности, а также мобильность выздоровевших, обладающих иммунитетом [22]. Однако эта группа населения не влияет

на динамику заболевания, и ее можно не учитывать при анализе эпидемии.

В большинстве работ рассматриваются одномерные модели. В данном исследовании рассмотрим более реалистичскую двухмерную модель [2, 22]. Начнем с простой двухмерной модели, базирующейся на SIR-модели и позволяющей получить наряду с численными некоторые аналитические решения:

$$\frac{\partial s_n}{\partial t} = a_s \left(\frac{\partial^2 s_n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 s_n}{\partial y^2} \right) - \alpha_{d1} s_n i_n; \quad (8)$$

$$\frac{\partial i_n}{\partial t} = a_i \left(\frac{\partial^2 i_n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 i_n}{\partial y^2} \right) + \alpha_{d1} s_n i_n - \alpha_{d2} i_n, \quad (9)$$

где a_s и a_i параметры, характеризующие мобильность восприимчивых и инфицированных, соответственно s_n и i_n , их нормированные плотности в рассматриваемой области. Отметим, что плотность выздоровевших (r_n) может быть определена с использованием решений уравнений (8), (9) и

$$\frac{\partial r_n}{\partial t} = a_i \left(\frac{\partial^2 r_n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 r_n}{\partial y^2} \right) + \alpha_{d2} r_n.$$

Предполагаем, что параметры a_s , a_i , α_{d1} и α_{d2} не зависят от времени и координат.

В уравнениях (8)–(9) удобно перейти к безразмерным переменным: $\tau = a_s t$, $\xi = x \sqrt{\frac{\alpha_{d1}}{a_s}}$, $\eta = y \sqrt{\frac{\alpha_{d1}}{a_s}}$; уравнения запишем как

$$\frac{\partial s_n}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 s_n}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 s_n}{\partial \eta^2} - s_n i_n, \quad (10)$$

$$\frac{\partial i_n}{\partial \tau} = \frac{a_i}{a_s} \left(\frac{\partial^2 i_n}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 i_n}{\partial \eta^2} \right) + s_n i_n - \frac{\alpha_{d2}}{\alpha_{d1}} i_n. \quad (11)$$

В этих уравнениях приведены два параметра, характеризующих распространение заболевания:

первый $\frac{a_i}{a_s}$ – отношение величин, характеризующих

мобильность инфицированных и восприимчивых лиц (не должен превосходить единицу); второй – $\frac{\alpha_{d2}}{\alpha_{d1}}$ – является обратной величиной аналога R_0 . Гра-

ничные условия зависят от окружения рассматриваемой территории. Для Израиля и ряда других стран, занимающих небольшие площади, которые резко ограничили въезд / выезд из страны, а также для удаленных районов России можно считать, что поток восприимчивых и инфицированных лиц через границу равен нулю, то есть

$$\left. \frac{\partial s_n}{\partial \vec{n}} \right|_{\Gamma} = 0 \text{ и } \left. \frac{\partial i_n}{\partial \vec{n}} \right|_{\Gamma} = 0,$$

где \vec{n} единичный вектор нормальный к границе Γ .

На рис. 6 показано развитие эпидемии в квадратной области $\{-4 < \xi < 4; -4 < \eta < 4\}$ с начальными условиями $i_n(0, \xi, \eta) = 0,0001 \exp[-20(\xi^2 + \eta^2)]$ и $s_n = 1$ во всей области. Все расчеты в данной работе проводились с использованием Mathematica 12.

Видим, что при $\tau \geq 5$ устанавливается практически равномерное распределение инфицированных, и при анализе дальнейшего развития эпидемии можно пользоваться моделью типа SIR, описанной в предыдущем разделе. Для рассматриваемых начальных и граничных условий время достижения равномерного распределения инфицированных оценивается как несколько (3–5) характерных времен диффузионного распространения $\tau_x = \frac{L^2}{\pi^2}$, где L половина стороны квадрата.

Лица, заразившиеся коронавирусной инфекцией, составляют относительно небольшой процент от всего населения, поэтому эпидемию COVID-19 можно рассматривать в начальной стадии. Неравномерное пространственное распределение инфицированных

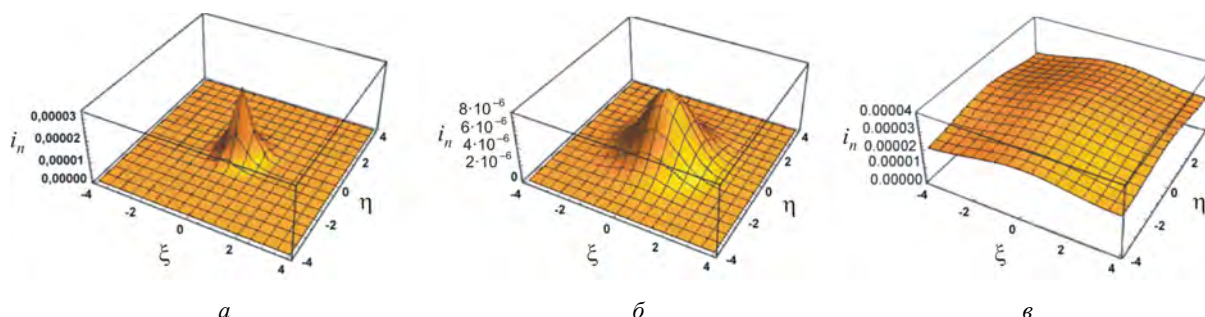


Рис. 6. Развитие эпидемии в квадратной области 16×16 при $\frac{a_i}{a_s} = 1$, $\alpha_{d1} = 0,22$ и $\alpha_{d2} = 0,048$:

пространственное распределение инфицированных лиц: а – при $\tau = 0,1$; б – при $\tau = 0,5$; в – при $\tau = 5$

в этот период эпидемии, которое наблюдается во многих странах и даже в крупных городах, является результатом как недостижения равномерного распределения инфицированных лиц, так и неравномерного распределения восприимчивых и зависимостью параметров a_s , a_i , α_{d1} и α_{d2} от времени и координат (см. следующий раздел).

Особенностью рассматриваемого примера (см. рис. 6) является снижение числа инфицированных в центре, несмотря на то что $\frac{\alpha_{d1}}{\alpha_{d2}} > 1$. Для объяснения этого рассмотрим приближение, позволяющее получить аналитическое решение.

В начальной стадии эпидемии, как это наблюдается для инфекции COVID-19, можно предположить, что плотность восприимчивых меняется незначительно и не зависит от координат, то есть $s_n = \text{const} = 1$. В этом случае распространение заболевания описывается уравнением

$$\frac{\partial i_n}{\partial t} = a_i \left(\frac{\partial^2 i_n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 i_n}{\partial y^2} \right) + (\alpha_{d1} - \alpha_{d2}) i_n. \quad (12)$$

Сделав замену $i_n = \tilde{i}_n(t, x, y) \exp[(\alpha_{d1} - \alpha_{d2})t]$, при решении уравнения (12) получим уравнение для $\tilde{i}_n(t, x, y)$

$$\frac{\partial \tilde{i}_n}{\partial t} = a_i \left(\frac{\partial^2 \tilde{i}_n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tilde{i}_n}{\partial y^2} \right). \quad (13)$$

Аналитические решения для уравнения (13) в зависимости от вида граничных условий, формы границы и начальных условий приведены, например, в справочнике по линейным уравнениям математической физики¹. В начальной стадии эпидемии инфицированные находятся в непосредственной близости от первых зараженных, в этом случае может быть использовано приближение бесконечно большой области $\{-\infty < x < \infty; -\infty < y < \infty\}$, можно предположить, что в начальный момент времени $t = 0$ инфицированные равномерно распределены в области $\{-x_0 < x < x_0; -y_0 < y < y_0\}$, то есть

$$i_n(0, x, y) = \begin{cases} i_{n0} & \text{при } -x_0 < x < x_0 \text{ и } -y_0 < y < y_0 \\ 0 & \text{при других } x \text{ и } y. \end{cases}$$

Решение уравнения (12):

$$i_n(t, x, y) = \frac{i_{n0}}{4} \left[\text{erf} \left(\frac{x_0 - x}{2\sqrt{a_i t}} \right) + \text{erf} \left(\frac{x_0 + x}{2\sqrt{a_i t}} \right) \right] \times \\ \times \left[\text{erf} \left(\frac{y_0 - y}{2\sqrt{a_i t}} \right) + \text{erf} \left(\frac{y_0 + y}{2\sqrt{a_i t}} \right) \right] \exp[(\alpha_{d1} - \alpha_{d2})t], \quad (14)$$

где $\text{erf}(x)$ интеграл вероятности. Отметим, что при других начальных и граничных условиях аналитические решения имеют более сложный вид, однако качественное поведение подобно этому.

Интегрируя (14) по всей площади, получаем зависимость общего числа инфицированных от времени

$$i(t) = 4i_{n0}x_0y_0e^{(\alpha_{d1}-\alpha_{d2})t}. \quad (15)$$

Учитывая, что $4i_{n0}x_0y_0 = i_0$ является нормированным начальным числом инфицированных и сравнивая решения (6) и (15), получаем, что должно выполняться $\alpha_{d1} = \alpha_1$ и $\alpha_{d2} = \alpha_2$; эти параметры и их зависимости от времени могут быть оценены с использованием SIR-модели. Как и в рамках SIR-модели, при $\alpha_1 < \alpha_2$ эпидемия затухает, хотя заболевание распространяется по области и захватывает новые районы.

При качественном анализе выбираем $y_0 = x_0$, в центре области $\{x = 0; y = 0\}$ плотность инфицированных

$$i_n(t, 0, 0) = i_{n0} \text{erf} \left(\frac{x_0}{2\sqrt{a_i t}} \right)^2 \exp[(\alpha_1 - \alpha_2)t]. \quad (16)$$

В выражении (16) erf убывает со временем, \exp растет. Удобно вместо t ввести $\tilde{t} = \frac{4a_i}{x_0^2}t$, тогда зависимость плотности инфицированных в центре области характеризуется одним параметром $\gamma = \frac{x_0^2}{4a_i}(\alpha_1 - \alpha_2)$:

$$i_n(t, 0, 0) = i_{n0} \text{erf} \left(\frac{1}{\sqrt{\tilde{t}}} \right)^2 \exp[\gamma \tilde{t}].$$

В зависимости от величины γ реализуются два режима (рис. 7): первый – монотонный рост со временем ($\gamma = 0, 7$), и второй – незначительный рост ($\gamma = 0, 1$). Разделяет эти режимы $\gamma \approx 0, 52$. Первый режим может быть реализован, когда эпидемия начинается в густонаселенном районе (начало эпидемии в Китае); второй – когда заболевание завезено и начинается с аэропорта, вокзала и т.д. При любых значениях γ при больших временах $i_n(t, 0, 0)$ растет пропорционально $\frac{1}{t} \exp[(\alpha_1 - \alpha_2)t]$. Приведенный анализ качественно описывает численные результаты, приведенные на рис. 6.

¹ Полянин А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики. – М.: Физматлит, 2001. – 576 с.

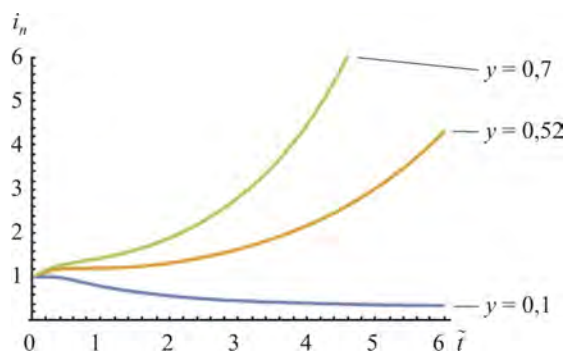


Рис. 7. Начальная стадия эпидемии: временная зависимость числа инфицированных в центре заражения

Распространение заболевания удобно анализировать в предположении осесимметричного распространения. С одной стороны, распространение заболевания в ряде областей, городов близко к осесимметричному. В начальный момент времени – даже в квадратной области (см. рис. 6). С другой стороны, рассмотрение такого приближения позволяет более наглядно представить результаты. Уравнения (8) и (9) переписываются как

$$\frac{\partial s_n}{\partial t} = a_s \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial s_n}{\partial \rho} \right) - \alpha_1 s_n i_n; \quad (17)$$

$$\frac{\partial i_n}{\partial t} = a_i \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial i_n}{\partial \rho} \right) + \alpha_1 s_n i_n - \alpha_2 i_n \quad (18)$$

с граничными

$$\left. \frac{\partial i_n}{\partial \rho} \right|_{\rho=0} = 0; \quad \left. \frac{\partial i_n}{\partial \rho} \right|_{\rho=\rho_m} = 0; \quad \left. \frac{\partial s_n}{\partial \rho} \right|_{\rho=0} = 0; \quad \left. \frac{\partial s_n}{\partial \rho} \right|_{\rho=\rho_m} = 0; \quad (19)$$

и начальными

$$s_n(0, \rho) = 1; \quad i_n(0, \rho) = 0,04 \exp[-\rho^2 / 0,01] \quad (20)$$

условиями.

Здесь $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$, ρ_m – радиус внешней границы рассматриваемой области; предполагается отсутствие въезда и выезда из области; численные параметры 0,04 и 0,01 в начальных условиях для i_n (20) соответствуют начальному числу инфицированных 10^{-6} от всего населения области. Результаты симуляции пространственно-временного развития эпидемии приведены на рис. 8.

Для каждого значения радиуса зависимости плотностей числа восприимчивых и инфицированных от времени подобны приведенным на рис. 1. Однако максимальное число инфицированных и время его достижения, как и для SIR-модели, зависят от α_1 , α_2 и их отношения, а также от радиуса, величин параметров a_1 и a_2 (сравните рис. 8, б и в), а также их отношения (сравните рис. 8, а и б). Аналогичные зависимости от времени демонстрируют и интегральные характеристики, число восприимчивых, инфицированных и выздоровевших во всей области (рис. 9).

Несмотря на начальное равномерное распределение восприимчивых, максимум плотности инфицированных убывает с удалением от очага заболеваемости (рис. 8, 10, а). Однако число инфицированных на единицу длины радиуса $i_{nr}(t, \rho) = 2\pi \rho i_n(t, \rho)$ растет с удалением от центра (рис. 10, б). Таким образом, даже при равных социальных условиях (плотность населения, подвижности восприимчивых и инфицированных, одинаковые параметры, характеризующие скорость заражения и выздоровления) и несмотря на интенсивную миграцию в центр, на периферии общее число заболевших будет значительно больше, чем в центре.

Более высокая плотность инфицированных в центре объясняется следующим: в начале эпидемии вблизи очага заболеваемости ($\rho \leq 1$) плотность восприимчивых убывает за счет их перехода в группу инфицированных. В то же время эта плотность

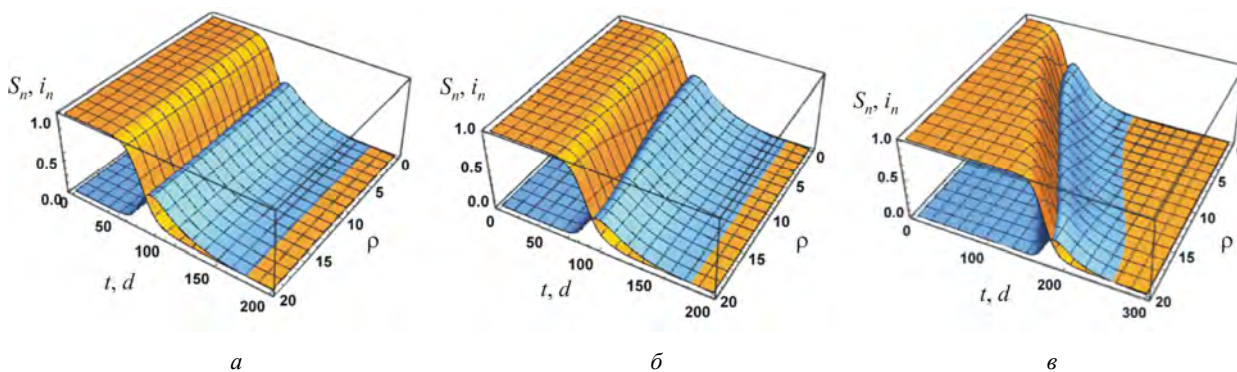


Рис. 8. Пространственно-временное развитие эпидемии; желтым цветом отмечена нормированная плотность восприимчивых s_n , синим – инфицированных i_n : а – $a_s = 1$ и $a_i = 1$; б – $a_s = 1$ и $a_i = 0,3$; в – $a_s = 0,1$ и $a_i = 0,03$.

Во всех случаях $\alpha_1 = 0,22$, $\alpha_2 = 0,048$ и $\rho_m = 20$; a_s и a_i величины, нормированные на реальный (размерный) коэффициент мобильности восприимчивых λ для случая а, а расстояние ρ – в единицах $\sqrt{\lambda}$.

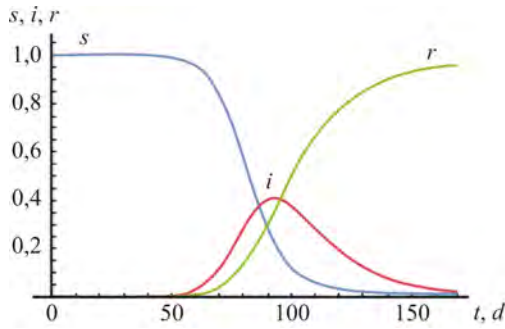


Рис. 9. Зависимость числа восприимчивых, инфицированных и выздоровевших индивидуумов во всей области. Параметры, как для рис. 8, б, распределение выздоровевших определялось как решение уравнения типа (17), в котором последний член справа заменен на $+\alpha_2 i_n$, с нулевыми начальными условиями

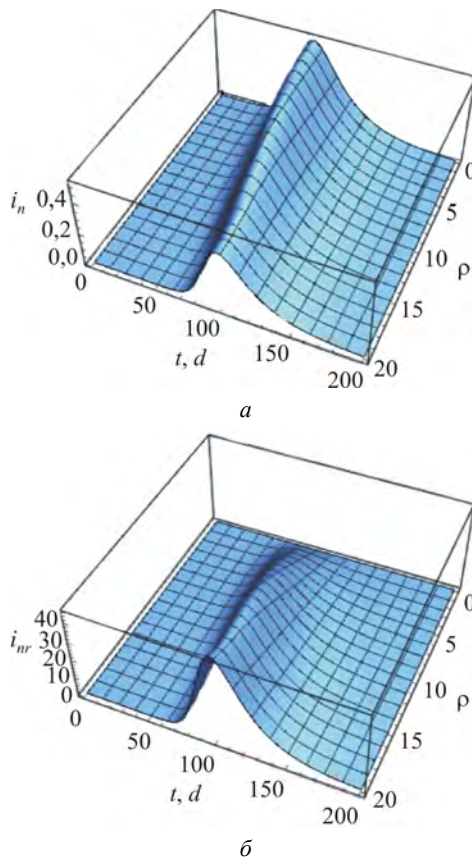


Рис. 10. Плотность инфицированных (а) и число инфицированных на единицу длины радиуса (б) для случая, представленного на рис. 8, б

практически не меняется в удаленных районах, которых инфекция не успела достичь. В рамках модели эта ситуация приводит к потоку восприимчивых к центру. Для случая, представленного на рис. 8, б, в область, ограниченную $\rho=1$, за 200 дней ($t=200$ д) мигрирует $\sim 1,1N / (\pi r_m^2)$ восприимчивых больше, чем $1/3$ изначально находившихся в этой области $\pi N / (\pi r_m^2)$, для случая, представленного на рис. 8, в,

число прибывших превышает $\pi N / (\pi r_m^2)$ в несколько раз. Применение модели, базирующейся на уравнениях (8) и (9), ограничено для описания распространения заболевания при неравномерном распределении восприимчивых. Даже в отсутствие заболевания решение уравнения (8) описывает достижение равномерного распределения восприимчивых при любом их начальном распределении.

3. Неоднородная реакционно-диффузионная эпидемиологическая модель. Миграцию населения можно разделить на два типа: дальние поездки в другие города, области, страны и ежедневное перемещение (дом – работа, учеба, посещение магазинов и т.д.). Первый тип связан с переносом заболевания на большие расстояния, который носит случайный характер. Предотвращение такого распространения заболевания может быть достигнуто введением ограничений на такое передвижение (ограничение и/или отмена полетов, закрытие страны и т.д.), а также введением санитарно-эпидемических мер: предварительная диагностика, карантин по прибытию. Эти меры были применены в Израиле и ряде стран в начале эпидемии. В странах, обладающих большими территориями (Россия, Китай, Канада, США), такие меры должны быть применены к отдельным регионам и областям.

Ежедневная миграция населения осуществляется внутри населенного пункта, включая города-спутники (например Москва, Тель-Авив, Нью-Йорк). В утренние часы поток населения направлен в центральные районы с большей плотностью населения; в вечернее время – в обратную сторону. Характерные эпидемиологические времена $1/\alpha_1$ и $1/\alpha_2$ значительно превосходят время ежедневной миграции, соответствующее периоду полусуток. Это позволяет ввести усредненную плотность восприимчивых как

$$\tilde{s}_n(t, r) = s_n(t, r) + \Delta s_n(t, r) / 2, \quad (21)$$

где $s_n(t, r)$ – плотность постоянно проживающих лиц в данном районе, $\Delta s_n(t, r)$ – плотность мигрирующих. Последняя величина может быть как положительной для центральных районов, так и отрицательной для периферии. В начальный момент эпидемии

$$\int_{\Omega} [s_n(0, r) + \Delta s_n(0, r)] d\Omega = N,$$

где Ω площадь рассматриваемой области. В дальнейшем предполагаем, что плотность восприимчивых меняется только за счет их перехода в группу инфицированных. Уравнения (8) и (9) переписываются в следующем виде

$$\frac{\partial \tilde{s}_n}{\partial t} = -\alpha_1 \tilde{s}_n i_n; \quad (22)$$

$$\frac{\partial i_n}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a_{ix} \frac{\partial i_n}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(a_{iy} \frac{\partial i_n}{\partial y} \right) + \alpha_1 \tilde{s}_n i_n - \alpha_2 i_n, \quad (23)$$

и коэффициенты α_1 , α_2 , a_{ix} и a_{iy} зависят от времени и координат, а коэффициенты a_{ix} и a_{iy} , характеризующие мобильность инфицированных, в общем случае зависят еще и от направления. Отметим, что при предположении неподвижности восприимчивых лиц коэффициенты a_{ix} и a_{iy} характеризуют скорее локальное распространение заболевания, а не мобильность инфицированных.

3.1. Влияние карантина на пространственно-временное распространение заболевания. Как локальные, так и интегральные максимумы инфицированных соответствуют десяткам процентов населения (см. рис. 1, 8 и 9). Для сокращения числа заболевших и умерших, а также для предотвращения коллапса медицинского обслуживания ограничительные меры и строгие карантин (lockdown) вводятся, когда процент инфицированных еще мал, и можно предположить, что \tilde{s}_n зависит только от принятых ограничительных мер и пренебрежимо мало меняется из-за инфицирования. В этом случае изменения \tilde{s}_n обусловлены изменениями $\Delta s_n(t, \rho)$, вызванными карантинными мерами. Мы будем предполагать, что коэффициенты α_1 , $a_{ix} = a_{iy}$ зависят только от времени, $s_n(t, \rho) = 1$, и параметр α_2 , характеризующий скорость выздоровления, постоянен. Для осесимметричного приближения в рамках сделанных предположений развитие эпидемии описывается решением уравнения

$$\frac{\partial i_n}{\partial t} = a_i(t) \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial i_n}{\partial \rho} \right) + \alpha_1(t, \rho) \tilde{s}_n(t, \rho) i_n - \alpha_2 i_n \quad (24)$$

с граничными (19) и начальными (20) условиями.

Введение карантина приводит к снижению мобильности населения, как восприимчивых, так и инфицированных, а также снижению вероятности их встреч и заражения восприимчивых. Для демонстрации эффективности карантина предположим, что:

- карантин вводится при $t = 25$ д, общее число инфицированных около 0,06 % (в Израиле первый карантин был введен при числе инфицированных около 0,1 %) и заканчивается при $t = 55$ д;
- после снятия карантина все параметры модели принимают начальные значения;
- эффективное распределение плотности восприимчивых \tilde{s}_n описывается

$$\tilde{s}_n = \frac{b(t) \exp[b(t) \rho_m^2]}{\exp[b(t) \rho_m^2] - 1} \rho_m^2 \exp[-b(t) \rho^2]; \quad (25)$$

- карантин характеризуется снижением параметров a_i с 0,3 до 0,1; α_1 с 0,22 до 0,02 и $b \rho_m^2$ с 0,693 до 0,1054 (зависимость плотности восприим-

чивых от радиуса до и во время карантина показана на рис. 11);

– как и выше, $\alpha_2 = 0,048$ и $\rho_m = 20$.

Результаты расчетов приведены на рис. 12.

В рассматриваемом диапазоне времени плотность инфицированных не превышает 2 % от плотности населения, и это оправдывает сделанное предположение, что изменением плотности восприимчивых можно пренебречь. Для каждого радиуса зависимость плотности инфицированных от времени качественно подобна этой зависимости для общего количества инфицированных (см. рис. 4). Наблюдается близкий к экспоненциальному рост инфицированных до введения карантина, снижение числа инфицированных во время карантина и резкий рост после его отмены и возврата к обычной жизни (волнообразный характер эпидемии). Однако при $\rho > 15$ плотность инфицированных, как до, так и во время карантина, конечна, но пренебрежимо мала, порядка 10^{-6} , то есть может быть меньше одного инфицированного на единицу площади. Это показывает, что введение карантина в области $\rho > 15$ является избыточной мерой, которая наносит неоправданный урон. Распространение заболевания в этой области является недостатком моделей, базирующихся на решении уравнений типа уравнений

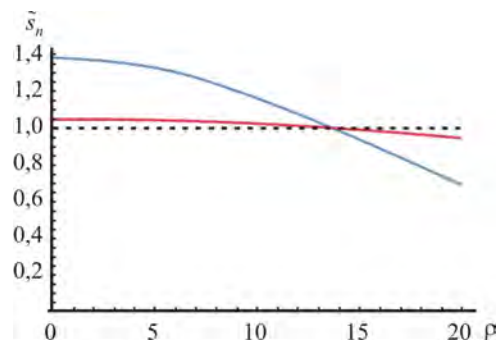


Рис. 11. Зависимость плотности восприимчивых от радиуса до (синяя кривая) и во время (красная) карантина; прерывистая линия соответствует равномерному распределению

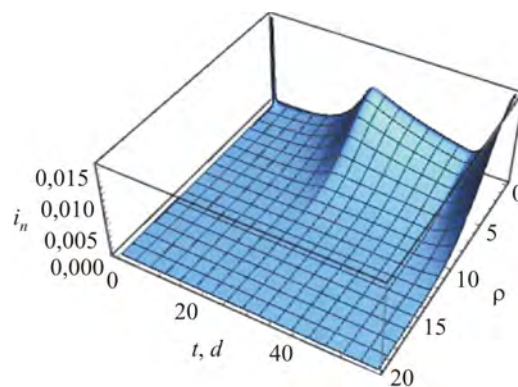


Рис. 12. Пространственно-временное распределение инфицированных

теплопроводности: парадокса бесконечной скорости распространения тепла; применительно к эпидемии – парадокс бесконечной скорости распространения заболевания.

4. Реакционно-диффузионная эпидемиологическая модель с конечным временем заражения.

В предыдущих разделах для описания пространственно-временного распространения заболевания использовались уравнения параболического типа, которые обладают физически парадоксальным свойством – бесконечной скоростью распространения возмущения [24, 25]. Применительно к эпидемиологическим моделям это означает, что заболевание распространяется мгновенно: на границе области при $\rho = 20$ реакционно-диффузионная модель моментально дает незначительную, но конечную плотность инфицированных. Это результат неявно сделанного предположения, что инфекция от инфицированных к восприимчивым передается мгновенно и сразу переводит последних в группу инфицированных. В действительности процесс заболевания более сложный и может состоять как минимум из двух стадий: инкубационный период (часть этого периода инфицированный не является источником заражения и у него нет внешних признаков заболевания) и непосредственно период болезни. Учесть инкубационный период позволяет SEIR-модель (Susceptible – Exposed – Infected – Removed model) [9, 10, 17, 20]. К трем рассмотренным состояниям в SIR-модели добавляется еще одно – Exposed – инфицированный, находящийся в инкубационном периоде. Для учета этого состояния в систему уравнений (8)–(9) добавляется еще одно нелинейное параболическое уравнение. Однако такой подход не решает проблему бесконечной скорости распространения заболевания. Для решения этого вопроса предлагаем использовать модель Каттанео – Вернотте [24, 25], которая приводит к конечной скорости распространения. В рамках этой модели вводится время релаксации (запаздывания) τ_{rel} , и в общем случае система уравнений (8)–(9) может быть записана как

$$\frac{\partial s_n}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a_{sx} \frac{\partial s_n}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(a_{sy} \frac{\partial s_n}{\partial y} \right) - \alpha_{d1} s_n i_n; \quad (26)$$

$$\tau_{rel} \frac{\partial^2 i_n}{\partial t^2} + \frac{\partial i_n}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a_{ix} \frac{\partial i_n}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(a_{iy} \frac{\partial i_n}{\partial y} \right) + \alpha_{d1} s_n i_n - \alpha_{d2} i_n \quad (27)$$

с параметрами, зависящими от времени и координат.

Уравнение (27) является уравнением гиперболического типа, которое дает конечную скорость распространения возмущений и широко используется для решения тепловых и диффузионных задач [24, 25]. Это уравнение содержит вторую производную по времени, и для его численного решения необходимо задать дополнительное начальное условие к уже используемому выше. Время релаксации τ_{rel}

является характеристикой неравновесности процесса и учитывает инерционность потока; в нашем случае задержка (инерционность) заражаемости. В начальный момент времени можно считать, что

$$\left. \frac{\partial i_n(t, x, y)}{\partial t} \right|_{t=0} = 0. \quad (28)$$

Решение системы уравнений (26) и (27) в предположении осевой симметрии приведено на рис. 13.

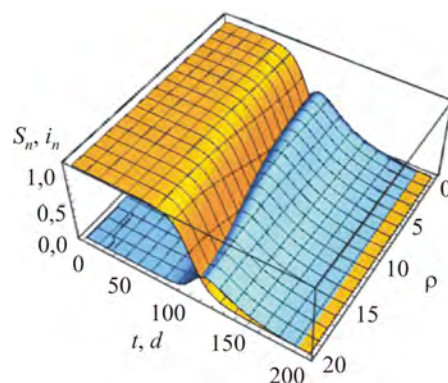


Рис. 13. Симуляция эпидемии с учетом конечного времени заражения. Начальные и граничные условия (19), (20) и (28); параметры предполагались постоянными $a_s = 1$, $a_i = 0,3$, $\alpha_1 = 0,22$, $\alpha_2 = 0,048$ и $\tau_{rel} = 1$

Решение подобно расчетам, полученным для модели, базирующейся на уравнениях параболического типа (17) и (18) (см. рис. 8). Однако учет задержки заражаемости приводит к уменьшению скорости распространения болезни и возникновению фронта распространения заболевания, то есть подвижной границы, разделяющей области с инфицированными и те, где последние отсутствуют. Плотность инфицированных плавно убывает до нуля с приближением к границе; за границей $i_n = 0$, это принципиально различает два решения. Различие между двумя решениями наглядно демонстрируется на рис. 14.

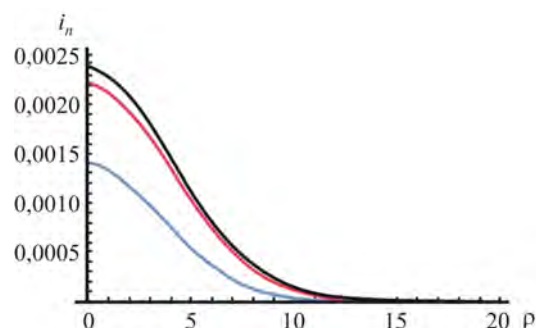


Рис. 14. Пространственное распределение инфицированных при $t = 30$: синяя кривая – $\tau_{rel} = 1$, красная – $\tau_{rel} = 0,1$, черная – $\tau_{rel} = 0$ (решение без учета задержки)

Уменьшение τ_{rel} приближает решение уравнений (26) и (27) к расчетам уравнений (17) и (18). Однако даже при малых значениях τ_{rel} существует граница: при $\rho_b \approx 12$ для $\tau_{rel} = 1$ и $\rho_b \approx 15$ для $\tau_{rel} = 0,1$. Предсказание движения границы позволяет научно обосновать поэтапное введение карантина.

Выводы. В данном исследовании проанализированы пространственно-временное развитие эпидемии и влияние карантинных мер на распространение заболевания. Рассмотренные реакционно-диффузионные эпидемиологические модели позволяют учитывать неравномерное распределение населения, изменение мобильности населения и частоты контактов типа «восприимчивый – инфицированный» из-за карантинных мер. Показано, что параметры, характеризующие заражаемость и скорость выздоровления, могут быть оценены, используя более простые модели типа SIR. Модифицированная в данной работе реакционно-диффузионная модель позволяет учитывать ежедневную миграцию населения и ее зависимость от времени.

Предложенная нами пространственно-временная модель, учитывающая задержку заражаемости (инкубационный период, когда инфицированный не является источником заражения), показала возможность возникновения фронта распространения заболевания.

Параметры моделей зависят от страны: в странах с большой площадью – от их части, в мегаполисах они могут меняться от района к району. Эти параметры зависят от многих факторов, таких как плотность населения, его подвижность, возрастных групп, степени вовлеченности населения в производственную деятельность и вида этой деятельности. Правильность оценки параметров зависит от полноты и достоверности статистических данных: корректности диагностики, правильного учета инфицированных и т.д. Так, статистика учитывает среди инфицированных только тех, кто обратился в медицинские учреждения и у которых подтвердился диагноз. Статистические данные не учитывают носителей инфекции, бессимптомных больных и больных в легкой форме, не обращающихся в медицин-

ские учреждения. Исследования на наличие антител показало, что количество таких инфицированных, которые распространяют заболевание, может быть в несколько раз больше, чем указывается статистикой [16, 26].

Эффективность применения индивидуальных средств защиты (медицинские маски, перчатки) и карантинных мер в значительной степени зависит от дисциплинированности населения, а изменения параметров моделей при введении ограничительных мер могут значительно меняться со временем и зависеть от места положения.

Актуальность корректного прогнозирования эпидемий возрастает в настоящее время в свете появления новых более контагиозных штаммов вирусов COVID-19 в Англии, ЮАР и ряде других стран.

За время подготовки статьи количество инфицированных возросло, были введены новые карантинные ограничения в ряде стран. Однако используемое в работе приближение, что число восприимчивых и их плотность мало изменились, все еще справедливо.

В декабре 2020 г. в ряде стран началась вакцинация населения. Из уравнения (2) следует, что вакцинация будет успешной при достижении $R_0 s(t) < 1$, то есть при условии, что процент невосприимчивых (переболевших и вакцинированных) будет больше $(1 - 1/R_0) \cdot 100\%$. При $R_0 = 4,5$ порог составляет 78 %. При таком проценте невосприимчивых локально возникший очаг заболевания исчезнет без принятия каких-либо карантинных мер. Введение и соблюдение карантинных мер приводит к снижению R_0 и необходимого минимума вакцинированных для прекращения эпидемии. Однако отмена этих мер и локально возникший очаг заболевания приведут к новой волне эпидемии.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и Министерства науки и технологий Израиля (совместный исследовательский проект № 19-515-06001).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Mallapaty S. Why COVID outbreaks look set to worsen this winter // Nature. – 2020. – № 586. – P. 653. DOI: 10.1038/d41586-020-02972-4
2. Berrai I.E., Bouyaghroumni J., Namir A. Numerical simulation of spatio-temporal model: case of SIR epidemic model // International Journal of Computer Science Issue. – 2014. – Vol. 11, № 2. – P. 105–108.
3. Capasso V. Mathematical Structures of Epidemic Systems. – Berlin: Springer, 1993. – P. 283.
4. Brauer F., Van den Driessche P., Wu J. Mathematical Epidemiology. – Berlin: Springer, 2008. – P. 408.
5. Башабаших М.М., Масленников Б.И. Имитационное моделирование пространственного распространения эпидемий (на примере холеры) с применением метода клеточных автоматов с помощью программы Anylogic // Интернет-журнал «Науковедение». – 2013. – № 6. – С. 1–13.
6. Brauer F., Castillo-Chavez C., Feng Z. Mathematical Models in Epidemiology. – Berlin: Springer Science+Business Media, 2019. – P. 619.
7. Al-Showaih F.N.M., Twizell E.H. One-dimensional measles dynamics // Applied Mathematics and Computation. – 2004. – Vol. 152, № 1. – P. 169–194. DOI: 10.1016/S0096-3003 (03) 00554-X

8. Al-Raei M. The basic reproduction number of new coronavirus pandemic with mortality for India, the Syrian Arab Republic, the United States, Yemen, China, France, Nigeria and Russia with different rate of cases // *Clinical Epidemiology and Global Health*. – 2020. – Vol. 9. – P. 147–149. DOI: 10.1016/j.cegh.2020.08.005
9. Матвеев А.В. Математическое моделирование оценки эффективности мер против распространения эпидемии COVID-19 // *Национальная безопасность и стратегическое планирование*. – 2020. – Т. 29, № 1. – С. 23–39.
10. Linka K., Peirlinck M., Kuhl E. The reproduction number of COVID-19 and its correlation with public health interventions // *Computation Mathematics*. – 2020. – Vol. 7. – P. 1035–1050. DOI: 10.1101/2020.05.01.20088047
11. Assessing the impact of non-pharmaceutical interventions (NPI) on the dynamics of COVID-19: A mathematical modelling study in the case of Ethiopia / B.A. Ejigu, M.D. Asfaw, L. Cavalerie, T. Abebaw, M. Nanyingi, M. Baylis // *medRxiv*. – 2020. – P. 30. DOI: 10.1101/2020.11.16.20231746
12. Spatio-temporal propagation of COVID-19 pandemics / B. Gross, Z. Zheng, S. Liu, X. Chen, A. Sela, J. Li, D. Li, S. Havlin // *medRxiv*. – 2020. – Vol. 9. – P. 6. DOI: 10.1101/2020.03.23.20041517
13. Examining COVID-19 Forecasting using Spatio-Temporal Graph Neural Networks / A. Kapoor, X. Ben, L. Liu, B. Perozzi, M. Barnes, M. Blais, S. O'Banion // *arXiv*. – 2020. – Vol. 6. – P. 031133.
14. Yesilkanat C.M. Spatio-temporal estimation of the daily cases of COVID-19 in worldwide using random forest machine learning algorithm // *Chaos, Solitons and Fractals*. – 2020. – Vol. 140. – P. 110210. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.110210
15. Population flow drives spatio-temporal distribution of COVID-19 in China / J.S. Jia, X. Lu, Y. Yuan, G. Xu, J. Jia, N.A. Christakis // *Nature*. – 2020. – Vol. 582. – P. 389–394.
16. Last M. The first wave of COVID-19 in Israel—Initial analysis of publicly available data // *PLoS ONE*. – 2020. – Vol. 15, № 10. – P. 1–16. DOI: 10.1371/journal.pone.0240393
17. Bacaer N. A mathematical model of the beginning of the coronavirus epidemic in France // *Mathematical Modelling of Natural Phenomena*. – 2020. – Vol. 15. – P. 1–10. DOI: 10.1051/mmnp/2020015
18. Coronavirus Cases. Israel [Электронный ресурс] // *Worldometers*. – URL: <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/israel/> (дата обращения: 12.12.2020).
19. Aschwanden C. The false promise of herd immunity // *Nature*. – 2020. – Vol. 587, № 7832. – P. 26–28. DOI: 10.1038/d41586-020-02948-4
20. A data-informed approach for analysis, validation, and identification of COVID 19 models / S. Yagiz, J. Mori, E. Miehling, T. Basar, R.L. Smith, M. West, P.G. Mehta // *medRxiv*. – 2020. – Vol. 6. – P. 8. DOI: 10.1101/2020.10.03.20206250
21. Paul S.K., Jana S., Bhaumik P. On nonlinear incidence rate of COVID-19 // *medRxiv*. – 2020. – Vol. 21. – P. 11. DOI: 10.1101/2020.10.19.20215665
22. Spatio-temporal numerical modeling of reaction-diffusion measles epidemic system / N. Ahmed, Z. Wei, D. Baleanu, M. Rafid, M.A. Rehman // *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. – 2019. – Vol. 29, № 10. – P. 103101. DOI: 10.1063/1.5116807
23. Intra-county modeling of COVID-19 infection with human mobility: assessing spatial heterogeneity with business traffic, age and race / X. Hou, S. Gao, Q. Li, Y. Kang, N. Chen, K. Chen, J. Rao, J.S. Ellenberg, J.A. Patz // *medRxiv*. – 2020. – Vol. 6. – P. 17. DOI: 10.1101/2020.10.04.20206/63
24. Полянин А.Д., Вязьмин А.В. Уравнения теплопроводности и диффузии с конечным временем релаксации. Постановки задач и некоторые решения // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. – 2013. – Т. 56, № 9. – С. 102–108.
25. Sobolev S.L. Transport processes and traveling waves in systems with local nonequilibrium // *Soviet Physics Uspekhi*. – 1991. – Vol. 3, № 34. – P. 217–229.
26. Results of the national serological survey for novel coronavirus [Электронный ресурс] // *Press Release of the Ministry of Health, Israel*. – 2020. – URL: <https://www.gov.il/en/departments/news/08102020-01> (дата обращения: 15.11.2020).

Пространственно-временное моделирование эпидемии COVID-19 / В.Л. Соколовский, Г.Б. Фурман, Д.А. Полянская, Е.Г. Фурман // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 23–37. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.03



Research article

SPATIO-TEMPORAL MODELING OF COVID-19 EPIDEMIC

V.L. Sokolovsky¹, G.B. Furman¹, D.A. Polyanskaya², E.G. Furman²¹Ben Gurion University of the Negev, P.O.B. 653, Beer-Sheva, 84105, Israel²Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, 26 Petropavlovskaya Str., Perm, 614000, Russian Federation

In autumn and winter 2020–2021 there was a growth in morbidity with COVID-19. Since there are no efficient medications and mass vaccination has only just begun, quarantine, limitations on travels and contacts between people as well as use of personal protection equipment (masks) still remain priority measures aimed at preventing the disease from spreading.

In this work we have analyzed how the epidemic developed and what impacts quarantine measures exerted on the disease spread; to do that we applied various mathematical models. It was shown that simple models belonging to SIR-type (S means susceptible; I, infected; and R, recovered or removed from the infected group) allowed estimating certain model parameters such as morbidity and recovery coefficients that could be used in more complicated models.

We examined spatio-temporal epidemiologic models based on finding solutions to non-stationary two-dimensional reaction-diffusion equations. Such models allow taking into account uneven distribution of population, changes in population mobility, and changes in frequency of contacts between susceptible and infected people due to quarantine. We applied obtained analytical and numerical solutions to analyze different stages in the epidemic as well as its wave-like development influenced by imposing and canceling quarantine limitations.

To take into account ultimate rate at which the disease spreads and its incubation period (when an infected person is not a source of contagion), we suggest using equations similar to the Cattaneo-Vernotte one. The suggested model allows predicting where the front of morbidity spread is going to occur, that is, a moving frontier between areas where there are infected people and areas where they are absent. Use of such models provides an opportunity to introduce differential quarantine measures basing on more objective grounds.

At the end of 2020 mass vaccination started in some countries. We estimated a necessary number of people that had to be vaccinated so that new waves of COVID-19 epidemic would be prevented; in our estimates, not less than 80 % of the country population should be vaccinated.

Correct prediction of epidemic development is becoming more and more vital at the moment due to new and more contagious COVID-19 virus strains occurring in England, South Africa, and some other countries.

Our research results can be used for predicting spread of COVID-19 and other communicable diseases; they can make for taking the most efficient measures for successful control over epidemics.

Key words: spatio-temporal modeling, epidemic, COVID-19, morbidity, non-stationary two-dimensional reaction-diffusion equations, quarantine, contagion rate, recovery rate.

References

1. Mallapaty S. Why COVID outbreaks look set to worsen this winter. *Nature*, 2020, no. 586, pp. 653. DOI: 10.1038/d41586-020-02972-4
2. Berrai I.E., Bouyaghroumni J., Namir A. Numerical simulation of spatio-temporal model: case of SIR epidemic model. *International Journal of Computer Science Issue*, 2014, vol. 11, no. 2, pp. 105–108.
3. Capasso V. *Mathematical Structures of Epidemic Systems*. Berlin, Springer Publ., 1993, 283 p.
4. Brauer F., Van den Driessche P., Wu J. *Mathematical Epidemiology*. Berlin, Springer Publ., 2008, 408 p.
5. Bashabsheh M.M., Maslinkov B.I. Simulation modeling of the spatial spread of epidemics (cholera for example) using the method of cellular automata using the Anylogic. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*, 2013, no. 6, pp. 1–13 (in Russian).

© Sokolovsky V.L., Furman G.B., Polyanskaya D.A., Furman E.G., 2021

Vladimir L. Sokolovsky – Candidate of Sciences, Professor at the Physics Department (e-mail: sokolovv@bgu.ac.il; tel.: +9 (725) 464-703-40; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4887-413X>).

Grigoriy B. Furman – Candidate of Sciences, Professor at the Physics Department (e-mail: gregoryf@bgu.ac.il; tel.: +9 (725) 476-842-45; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7303-9414>).

Darya A. Polyanskaya – Candidate of Medical Sciences, Lecturer at the Hygiene Department of the Medical and Prevention Faculty (e-mail: daryasp88@gmail.com; tel.: +7 (909) 731-11-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1466-7039>).

Evgeniy G. Furman – Corresponding member of the RAS, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department for Faculty and Hospital Pediatrics (e-mail: furman1@yandex.ru; tel.: +7 (912) 883-97-35; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1751-5532>).

6. Brauer F., Castillo-Chavez C., Feng Z. *Mathematical Models in Epidemiology*. Berlin, Springer Science+Business Media Publ., 2019, 619 p.
7. Al-Showaiikh F.N.M., Twizell E.H. One-dimensional measles dynamics. *Applied Mathematics and Computation*, 2004, vol. 152, no. 1, pp. 169–194. DOI: 10.1016/S0096-3003(03)00554-X
8. Al-Raei M. The basic reproduction number of new coronavirus pandemic with mortality for India, the Syrian Arab Republic, the United States, Yemen, China, France, Nigeria and Russia with different rate of cases. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 2020, vol. 9, pp. 147–149. DOI: 10.1016/j.cegh.2020.08.005
9. Matveev A.V. The mathematical modeling of the effective measures against the COVID-19 spread. *Natsional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie*, 2020, vol. 29, no. 1, pp. 23–39 (in Russian).
10. Linka K., Peirlinck M., Kuhl E. The reproduction number of COVID-19 and its correlation with public health interventions. *Computation Mathematics*, 2020, vol. 7, pp. 1035–1050. DOI: 10.1101/2020.05.01.20088047
11. Ejigu B.A., Asfaw M.D., Cavalierie L., Abebaw T., Nanyingi M., Baylis M. Assessing the impact of non-pharmaceutical interventions (NPI) on the dynamics of COVID-19: A mathematical modelling study in the case of Ethiopia. *medRxiv*, 2020, 30 p. DOI: 10.1101/2020.11.16.20231746
12. Gross B., Zheng Z., Liu S., Chen X., Sela A., Li J., Li D., Havlin S. Spatio-temporal propagation of COVID-19 pandemics. *medRxiv*, 2020, vol. 9, 6 p. DOI: 10.1101/2020.03.23.20041517
13. Kapoor A., Ben X., Liu L., Perozzi B., Barnes M., Blais M., O'Banion S. Examining COVID-19 Forecasting using Spatio-Temporal Graph Neural Networks. *arXiv*, 2020, vol. 6, pp. 031133.
14. Yesilkanat C.M. Spatio-temporal estimation of the daily cases of COVID-19 in worldwide using random forest machine learning algorithm. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2020, vol. 140, pp. 110210. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.110210
15. Jia J.S., Lu X., Yuan Y., Xu G., Jia J., Christakis N.A. Population flow drives spatio-temporal distribution of COVID-19 in China. *Nature*, 2020, vol. 582, pp. 389–394.
16. Last M. The first wave of COVID-19 in Israel—Initial analysis of publicly available data. *PLoS ONE*, 2020, vol. 15, no. 10, pp. 1–16. DOI: 10.1371/journal.pone.0240393
17. Bacaer N. A mathematical model of the beginning of the coronavirus epidemic in France. *Mathematical Modelling of Natural Phenomena*, 2020, vol. 15, pp. 1–10. DOI: 10.1051/mmnp/2020015
18. Coronavirus Cases. Israel. *Worldometers*. Available at: <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/israel/> (12.12.2020).
19. Aschwanden C. The false promise of herd immunity. *Nature*, 2020, vol. 587, no. 7832, pp. 26–28. DOI: 10.1038/d41586-020-02948-4
20. Yagiz S., Mori J., Miehl E., Basar T., Smith R.L., West M., Mehta P.G. A data-informed approach for analysis, validation, and identification of COVID 19 models. *medRxiv*, 2020, vol. 6, 8 p. DOI: 10.1101/2020.10.03.20206250
21. Paul S.K., Jana S., Bhaumik P. On nonlinear incidence rate of COVID-19. *medRxiv*, 2020, vol. 21, 11 p. DOI: 10.1101/2020.10.19.20215665
22. Ahmed N., Wei Z., Baleanu D., Rafid M., Rehman M.A. Spatio-temporal numerical modeling of reaction-diffusion measles epidemic system. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 2019, vol. 29, no. 10, pp. 103101. DOI: 10.1063/1.5116807
23. Hou X., Gao S., Li Q., Kang Y., Chen N., Chen K., Rao J., Ellenberg J.S., Patz J.A. Intra-county modeling of COVID-19 infection with human mobility: assessing spatial heterogeneity with business traffic, age and race. *medRxiv*, 2020, vol. 6, 17 p. DOI: 10.1101/2020.10.04.20206/63
24. Polyanin A.D., Vyaz'min A.V. Uravneniya teploprovodnosti i diffuzii s konechnym vremenem relaksatsii. Postanovki zadachi nekotorye resheniya [Heat conduction and diffusion equation with finite relaxation time. Problem definitions and certain solutions]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2013, vol. 56, no. 9, pp. 102–108 (in Russian).
25. Sobolev S.L. Transport processes and traveling waves in systems with local nonequilibrium. *Soviet Physics Uspekhi*, 1991, vol. 3, no. 34, pp. 217–229.
26. Results of the national serological survey for novel coronavirus. *Press Release of the Ministry of Health, Israel*, 2020. Available at: <https://www.gov.il/en/departments/news/08102020-01> (15.11.2020).

Sokolovsky V.L., Furman G.B., Polyanskaya D.A., Furman E.G. *Spatio-temporal modeling of COVID-19 epidemic. Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 23–37. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.03.eng

Получена: 01.02.2021

Принята: 16.02.2021

Опубликована: 30.03.2021

This research was supported by the joint grant from the Ministry of Science & Technology (MOST, № 3-16500), Israel & Russian Foundation (RFBR, № 19-515-06001).



Научная статья

АНАЛИЗ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАДИАЦИОННЫХ И ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ

**С.М. Киселев, Н.К. Шандала, Т.Н. Лашенцова, Ю.Н. Зозуль,
В.В. Шлыгин, Т.И. Гимадова, А.Н. Малахова**

Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна ФМБА России, Россия, 123182, г. Москва, ул. Живописная, 46

В рамках реабилитации объектов ядерного наследия на северо-западе России осуществляется вывод из эксплуатации бывшей береговой технической базы ВМФ России на полуострове Грехиха Мурманской области (ЗАО г. Островной). В настоящее время на предприятии осуществляется извлечение отработавшего ядерного топлива из корабельных реакторов с жидкометаллическим теплоносителем, обращение с радиоактивными отходами, накопленными в ходе предыдущей деятельности. Особенности текущей производственной деятельности определяют комплексный характер воздействия на окружающую среду, обусловленный загрязнителями как радиационной, так и нерадикационной природы.

Настоящая работа посвящена исследованию гигиенической обстановки, сложившейся на территории проживания населения в районе расположения объекта ядерного наследия. В целом радиационная обстановка на селитебной территории, обусловленная загрязнителями техногенной природы, формируется радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Как показали наши исследования, в настоящий момент их содержание в объектах окружающей среды соответствует фоновым показателям, характерным для данного региона. Химическое загрязнение территории проживания населения характеризуется повышенным содержанием тяжелых металлов (Cd, As, Pb, V, Zn, Cu и т.д.) в почвах городской среды по сравнению с фоновыми показателями. Выявлено превышение ПДК Pb, ОДК Zn. По суммарному показателю загрязненности почвы тяжелыми металлами (Zc) большая часть жилой территории относится к категории «допустимая». Канцерогенный риск по радиационным и химическим факторам для населения селитебной зоны составляет менее 10^{-6} .

Результаты исследований позволяют охарактеризовать сложившуюся гигиеническую обстановку как нормальную и заключить, что при проведении работ по выводу из эксплуатации объектов СЗЦ «СевРАО» (отд. Грехиха) производственная деятельность не оказывает негативного влияния на состояние окружающей среды и здоровье населения, проживающего в районе его расположения. Полученные данные являются основой для уровней контроля при проведении мониторинговых исследований состояния окружающей среды в ходе проведения работ по восстановлению загрязненных территорий объектов ядерного наследия.

Ключевые слова: радиационно опасные объекты, ядерное наследие, СЗЦ «СевРАО», Грехиха, канцерогенный риск, техногенные радионуклиды, тяжелые металлы, гигиеническая оценка, здоровье населения.

© Киселев С.М., Шандала Н.К., Лашенцова Т.Н., Зозуль Ю.Н., Шлыгин В.В., Гимадова Т.И., Малахова А.Н., 2021

Киселев Сергей Михайлович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией регулирующего надзора за объектами ядерного наследия (e-mail: sergbio@gmail.com; тел.: 8 (985) 761-10-17; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2613-2293>).

Шандала Наталья Константиновна – доктор медицинских наук, заместитель генерального директора (e-mail: shandala-fimbc@bk.ru; тел.: 8 (499) 190-93-29; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1290-3082>).

Лашенцова Татьяна Николаевна – доктор биологических наук, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: tlaschenova@yandex.ru; тел.: 8 (910) 404-91-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6682-1261>).

Зозуль Юлия Николаевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник (e-mail: julnik@list.ru; тел.: 8 (985) 920-39-83; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3154-1806>).

Шлыгин Владимир Васильевич – младший научный сотрудник (e-mail: vladvas83@mail.ru; тел.: 8 (499) 190-94-18; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-9557>).

Гимадова Тамара Ивановна – старший научный сотрудник (e-mail: tamara.gimadova@icloud.com; тел.: 8 (499) 190-96-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9144-2610>).

Малахова Анна Николаевна – инженер (e-mail: lawbro@yandex.ru; тел.: 8 (499) 190-96-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3868-3671>).

В соответствии с Основами государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации, утвержденными Президентом Российской Федерации в 2018 г.¹, реализуется комплекс мероприятий по реабилитации объектов ядерного наследия. К ним относятся объекты использования ядерной энергии в мирных и военных целях, которые были созданы до установления современных требований к обеспечению ядерной и радиационной безопасности, в том числе объекты, эксплуатация которых по функциональному назначению прекращена и которые находятся в стадии вывода из эксплуатации, захоронения, утилизации.

Оценка потенциального техногенного воздействия ядерно- и радиационно опасных объектов на человека и окружающую среду является одним из социально значимых факторов и служит предметом исследования различных проектов, в том числе международных² [1–5].

Сравнительный анализ потенциальной опасности источников внешнего воздействия и оценка вероятности возникновения неблагоприятных последствий для человека и окружающей среды базируются на применении риск-ориентированного подхода, являющегося современным инструментом управления качеством среды и здоровьем человека [6–9]. Современная методология оценки риска основана на изучении и анализе всех факторов воздействия на окружающую среду и опосредованно на человека, причем оценка риска проводится и при их раздельном и совместном воздействии на человека и экосистемы. Результаты оценки являются основой для последующего сравнительного анализа и управления рисками, позволяющими существенно оптимизировать процесс вывода из эксплуатации объектов ядерного наследия и реабилитации территорий их нахождения [10–14].

Предметом настоящей работы является гигиеническая оценка состояния окружающей среды и исследование потенциального воздействия осуществляемой производственной деятельности по выводу из эксплуатации объекта ядерного наследия – бывшей береговой технической базы (БТБ) военноморского флота России на северо-западе (Мурманская область) – на население, проживающее в районе его расположения. В 1958 г. на полуострове Грехиха была создана БТБ, где осуществлялась перезарядка корабельных реакторов, дислоцированных на полуострове атомных подводных лодок (АПЛ) с водяным и жидкометаллическим теплоносителем, проведение их доковых осмотров и ремонтов. В процессе эксплуатации на территории пред-

приятия накопились существенные объемы отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и радиоактивных отходов (РАО) с суммарной активностью $13 \cdot 10^{15}$ Бк [15]. В конце 80-х гг. после перебазирования дивизиона АПЛ и вывода воинского контингента БТБ оказалась невостребованной, что привело к деградации инфраструктуры объекта, нарушению инженерных барьеров хранилищ ОЯТ и РАО с последующей миграцией техногенных радионуклидов в окружающую среду. Для обеспечения безопасности населения и предотвращения дальнейшего загрязнения природной среды объект был передан в ведение государственной корпорации «Росатом» для вывода из эксплуатации и экологической реабилитации загрязненных территорий. На базе бывшей БТБ создан филиал северо-западного центра по обращению с радиоактивными отходами «СевРАО» Федерального государственного унитарного предприятия РосРАО (с 2020 г. – «Федеральный экологический оператор») (отделение Грехиха). В настоящее время на предприятии осуществляются работы по разборке отработавших выемных частей реакторов АПЛ с жидкометаллическим теплоносителем; обращение с высокоактивными РАО, хранящимися на открытой площадке, с последующей транспортировкой ОЯТ на переработку (ПО «Маяк») и РАО для долговременного хранения на ПДХ РО Сайда-губа. По завершении вывоза ОЯТ и РАО планируется реабилитация загрязненных территорий и реализация конечного состояния объекта в соответствии со сценарием «коричневой лужайки», при которой на территории отсутствуют радиоактивные отходы и допустимо строительство промышленных объектов. Учитывая специфику производственной деятельности, объект относится к первой категории радиационной опасности, в соответствии с которой его территория разделена на три зоны – зона контролируемого доступа, санитарно-защитная зона и зона наблюдения, в которых оператором осуществляется контроль радиационной обстановки согласно установленному регламенту.

Особенности прошлой деятельности при использовании объектов по прямому назначению, а также текущего производственного процесса по выводу их из эксплуатации позволяют полагать потенциальное загрязнение окружающей среды целым комплексом загрязнителей, включающих вещества как радиационной, так и нерадиационной природы [16, 17]. К загрязнителям нерадиационной природы относится целый спектр неорганических и органических загрязнителей, в том числе тяжелые металлы, присутствующие в выбросах на площадках газорезательных, сварочных,

¹ Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу: Указ Президента РФ от 13 октября 2018 г. № 585 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43631> (дата обращения: 10.07.2020).

² Assessing the Long Term Safety of Radioactive Waste Management. Regulatory Guide G-320. – Ottawa, Ontario: Canadian Nuclear Safety Commission December, 2006. – 41 p.

покрасочных и дезактивационных работ, на современном этапе реабилитации объектов ядерного наследия. Учитывая данные обстоятельства, перед авторами стояла задача оценить санитарно-гигиеническое состояние территории по радиационным и химическим факторам на современном этапе производственной деятельности, применив риск-ориентированный подход, выявить степень риска для здоровья населения при проживании на территории полуострова Гремиха в настоящее время.

Цель исследования – комплексная оценка риска здоровью населения полуострова Гремиха по радиационным и химическим факторам в районе размещения объекта ядерного наследия СЗЦ «СевРАО» ФЭО (отделение Гремиха) в процессе вывода его из эксплуатации.

Материалы и методы. Измерения, отбор и анализ проб в рамках исследования проведены в соответствии со стандартными методиками аккредитованного испытательного лабораторного центра ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна (аттестат RA.RU.21BY01).

Математическая обработка результатов осуществлялась посредством MS Excel 2016. В связи с тем что распределение измеренных значений не соответствует нормальному и логнормальному, в качестве показателя центральной тенденции использована медиана и границы ее доверительного интервала при $P=0,95$ в соответствии с ГОСТ Р ИСО 16269-7-2004³. В соответствии с принципом консервативности минимальные и максимальные значения, а также границы доверительного интервала медианы приведены с запасом на расширенную неопределенность измерений.

Оценка радиационной обстановки на местности осуществлена методом пешеходной гамма-съемки с измерением мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД) (МКС-01А «Мультирад-М»).

Лабораторные исследования радионуклидного состава и удельной активности техногенных радионуклидов выполнены методами спектрометрии (гамма-спектрометр CANBERRA с полупроводниковым германиевым детектором, США) и радиометрии (радиометр УМФ-2000, Россия) с применением предварительных методов радиохимического выделения радионуклидов.

Оценка доз облучения населения проведена согласно рекомендациям Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) и Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) для ситуации фактического радиационного воздействия на население с учетом регионального радиационного фона⁴ [18]. Годовая доза облучения населения рассчитана согласно НРБ-99/2009⁵ как сумма доз внешнего облучения за текущий год и ожидаемой дозы до 70 лет вследствие поступления радионуклидов в организм за текущий год.

Консервативная оценка средней годовой эффективной дозы (далее СГЭД) внешнего облучения населения на местности и в жилых домах выполнена по результатам экспонирования термoluminescentных дозиметров (ТЛ-дозиметры) с детекторами на основе фтористого лития (ДТГ-4) в тканеэквивалентной кассете толщиной 1 г/см².

Доза внутреннего облучения за счет перорального поступления радионуклидов с водой рассчитана по удельной активности техногенных радионуклидов согласно МР 2.6.1.0063-12⁶:

$$E_{i,k}^{\text{int}} = \sum_k \sum_j (e_{i,j}^k \cdot V_{i,j} \cdot S_{k,j}), \quad (1)$$

где $e_{i,j}^k$, мЗв/Бк – зависящий от возраста дозовый коэффициент для k -го радионуклида в случае его перорального поступления в организм человека, НРБ-99/2009;

$V_{i,j}$, кг/г – годовое потребление j -го продукта (питьевая вода – 730 л);

$S_{k,j}$, Бк/кг – среднегодовая удельная активность k -го радионуклида в j -м пищевом продукте.

Оценка содержания тяжелых металлов выполнена на основе результатов исследования проб почвы и питьевой воды методом атомно-абсорбционной спектрометрии («Квант 2АТ», Россия). Из спектра определенных элементов в работе представлены данные по содержанию тяжелых металлов, присутствующих в пробах в значимых количествах.

Оценка уровня химического загрязнения почв проведена на основе ПДК⁷/ОДК⁸, коэффициента концентрации химического вещества относительно регио-

³ ГОСТ Р ИСО 16269-7-2004. Статистические методы. Статистическое представление данных. Медиана. Определение точечной оценки и доверительных интервалов [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035332> (дата обращения: 10.07.2020).

⁴ Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. General Safety Requirements, Part 3. No GSR-3. – Vienna: IAEA, 2014. – 477 p.

⁵ Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПин 2.6.1.2523-09. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.

⁶ МР 2.6.1.0063-12. Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях его нормальной эксплуатации и радиационной аварии [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095229> (дата обращения: 10.07.2020).

⁷ ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901966754> (дата обращения: 10.07.2020).

⁸ ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901966754> (дата обращения: 10.07.2020).

нального фона (K_c) и суммарного показателя загрязнения (Z_c) согласно МУ 2.1.7.730-99⁹. Коэффициент концентрации K_c определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве (C_i) в мг/кг почвы к региональному фоновому (C_{fi}):

$$K_c = C_i / C_{fi}. \quad (2)$$

Суммарный показатель загрязнения равен сумме коэффициентов концентрации химических элементов-загрязнителей:

$$Z_c = \Sigma (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n-1), \quad (3)$$

где n – число определяемых суммируемых веществ; K_{ci} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения.

При оценке уровня химического загрязнения питьевой воды использованы ПДК согласно СанПиН 2.1.4.1074-01¹⁰, ГН 2.1.5.1315-03¹¹.

Риск от воздействия радиационного фактора на основе СГЭД рассчитан с использованием линейного коэффициента риска злокачественных новообразований для всего населения $5,5 \cdot 10^{-2}$ в соответствии с требованиями НРБ-99/2009. Согласно рекомендациям Росгидромета Р 52.18.787-2013¹² по удельному содержанию техногенных радионуклидов в почве и питьевой воде оценен риск по путям облучения.

Риск здоровью населения от воздействия тяжелых металлов выполнен согласно руководству Р 2.1.10.1920-04¹³. Расчет индивидуального канцерогенного риска проведен по сценарию постоянного проживания с использованием данных о величине экспозиции и установленных значений факторов канцерогенного потенциала, характеризующих дополнительный индивидуальный канцерогенный риск или степень увеличения вероятности развития рака при накожном, ингаляционном и пероральном путях поступления канцерогенов.

Результаты и их обсуждение. Характеристика объекта и территории его расположения. Характеристика современного состояния СЗЦ «СевРАО» ФЭО (отделение Гремиха) на данном этапе вывода из эксплуатации проводилась прежде всего по данным экологических отчетов за 2017–2019 гг. Данные свидетельствуют, что предприятие на данном этапе не производит сбросов радионуклидов в водные объекты и выбросов радионуклидов в атмосферный воздух.

На территории площадки существуют локальные участки поверхностного и глубинного загрязнения грунта. Мощность дозы гамма-излучения на открытой местности варьируется в диапазоне $0,05 \div 150$ мкЗв/ч (медиана – $0,44$ мкЗв/ч). Основными техногенными радионуклидами в объектах окружающей среды (грунт, водоросли, донные отложения) являются ^{137}Cs и ^{90}Sr , в следовых концентрациях обнаруживается ^{154}Eu (грунт) и ^3H (грунтовые воды). В подземных водах наряду с ^{90}Sr и ^3H отмечается наличие тяжелых металлов в концентрациях, превышающих ПДК: грунтовые воды – Cd и Tl, подземные воды – Cd, Ni, Al, Mn, Zn. Химическое загрязнение грунта гетерогенно и представлено Pb, Ni, Cu, Zn, V, Cd, As [19].

Поэтому при анализе санитарно-гигиенической обстановки на территориях проживания населения в настоящее время в районе размещения объекта ядерного наследия основное внимание уделено почве как объекту окружающей среды, отражающему долгосрочное фактическое воздействие техногенного фактора, и питьевой воде как основному источнику, формирующему дозу внутреннего облучения.

В зоне наблюдения радиационного объекта (отделение Гремиха) расположено закрытое административно-территориальное образование г. Островной, включающий два микрорайона – мкр. Гремиха и мкр. Островной, расположенные в 1–2 км от промплощадки. Численность населения по данным 2019 г. составляет 1842 человека [20]. Население проживает в многоэтажных панельных и кирпичных домах с центральным водопроводом. Водобеспечение для питьевых и хозяйственных нужд осуществляется из поверхностного озера (озеро Змей), расположенного на удалении 4 км от селитебной зоны. Рельеф исследуемой местности сильнопересеченный, характеризуется выходами скальных пород, многочисленными озерами и болотами. В силу суровых климатических условий и бедноты почв, основной растительностью являются лишайники, низкорослые березы, кустарник. Природные условия территории не позволяют заниматься сельским хозяйством и животноводством. Жизнеобеспечение населения осуществляется морским транспортом и вертолетами. Рацион питания населения определяется привозными продуктами.

⁹ МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003852> (дата обращения: 10.07.2020).

¹⁰ СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901798042> (дата обращения: 10.07.2020).

¹¹ ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901862249> (дата обращения: 10.07.2020).

¹² Р 52.18.787-2013. Методика оценки радиационных рисков на основе данных мониторинга радиационной обстановки. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2014. – 116 с.

¹³ Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 10.07.2020).

Т а б л и ц а 1

Результаты измерения МАЭД в районе размещения СЗЦ «СевРАО»

Территория	Количество измерений	МАЭД, мкЗв/ч		
		минимум	максимум	медиана
Фоновый район	131	0,06	0,20	0,11 (0,07–0,15)
Мкр. Островной	6538	0,06	0,21	0,07 (0,05–0,10)
Мкр. Гремиха	3224	0,05	0,16	0,07 (0,05–0,10)

Т а б л и ц а 2

Удельная активность техногенных радионуклидов в атмосферном воздухе на территории Мурманской области в 2019 г.¹⁶

Радионуклид	Удельная активность, Бк/м ³		
	среднее	максимальное	ДОО
¹³⁷ Cs	7,8·10 ⁻⁶	18,8·10 ⁻⁶	27
⁹⁰ Sr	6,3·10 ⁻⁶	9,9·10 ⁻⁶	2,7

Оценка радиационной обстановки в зоне наблюдения. Мощность дозы гамма-излучения. Значения МАЭД в мкр. Гремиха и мкр. Островной соответствуют уровню регионального фона (табл. 1), изменяясь в пределах колебаний естественного радиационного фона по Мурманской области¹⁴ (0,06–0,23 мкЗв/ч).

Содержание техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды. Основными дозозобразующими техногенными радионуклидами являются ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr. Результаты лабораторного контроля внешней среды предприятия¹⁵ показывают, что содержание аэрозолей радионуклидов в атмосферном воздухе не превышает значений ДОО, установлен-

ных НРБ-99/2009, что подтверждают данные Радиационно-гигиенического паспорта территории Мурманской области за 2019 г. (табл. 2).

Удельная активность ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в почве на территории селитебной зоны находится на уровне регионального фона (табл. 3). В непосредственной близости к району расположения СЗЦ «СевРАО» грунты по содержанию техногенных радионуклидов удовлетворяют требованиям неограниченного использования твердых материалов А_{ни} согласно ОСПОРБ-99/2010¹⁷.

Вода озера Змей, поверхностного источника водоснабжения, по содержанию техногенных радионуклидов соответствует требованиям качества питьевой воды. Удельная активность ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr на три порядка ниже уровня вмешательства, регламентированного НРБ-99/2009 (табл. 3).

Дозы облучения населения. Согласно проектной документации в режиме нормальной эксплуатации объекта за пределами его промплощадки максимальная ожидаемая годовая эффективная доза облучения населения, рассчитанная по фактическим выбросам, составит 16,34 мкЗв, что существенно ниже установленной для предприятия квоты предела

Т а б л и ц а 3

Удельная активность техногенных радионуклидов в почве и воде озера в районе размещения СЗЦ «СевРАО» отд. Гремиха

Объект / территория	Удельная активность, Бк/кг					
	¹³⁷ Cs			⁹⁰ Sr		
	кол-во изм.	максимум	медиана	кол-во изм.	максимум	медиана
Почва	А _{ни} = 100			А _{ни} = 1000		
Фоновый район	4	16	8 (4–12)	4	10	0,2 (0,2–0,5)
Мкр. Островной	8	29	9 (1–13)	5	1	0,4 (0,2–0,9)
Мкр. Гремиха	13	31	11 (1–25)	5	0,5	0,3 (0,2–0,6)
Вода	УВ = 11			УВ = 4,9		
Вода оз. Змей	2	0,003	0,003	2	<0,001	<0,001

¹⁴ Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2018 году: ежегодник. – Обнинск, 2019. – 324 с.

¹⁵ Отчет по экологической безопасности Северо-Западного центра по обращению с радиоактивными отходами – филиала федерального государственного унитарного предприятия «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО» (СЗЦ «СевРАО» – филиала ФГУП «РосРАО») за 2018 год. – 2018. – 32 с.

¹⁶ Радиационно-гигиенический паспорт территории по Мурманской области за 2019. – Мурманск, 2019. – 11 с.

¹⁷ СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902214068> (дата обращения: 10.07.2020).

дозы 100 мкЗв¹⁸. За пределами санитарно-защитной зоны приземные концентрации загрязняющих веществ, оцененные по качественному и количественному составу выбросов в атмосферный воздух, соответствуют СанПиН 2.1.6.1032-01¹⁹. Поэтому основными путями облучения населения являются внешнее и внутреннее облучение за счет потребления питьевой воды.

СГЭД внешнего облучения по данным ТЛ-дозиметров (табл. 4) не превышает 1,63 мЗв при медианном значении 0,98 мЗв. Доза внешнего облучения населения в домах соответствует значениям на открытой местности.

С учетом стандартного времени пребывания в домах (6600 ч) и на открытой местности (2200 ч) медианное значение СГЭД внешнего облучения составило 0,85 мЗв, изменяясь от 0,40 до 1,58 мЗв.

СГЭД внешнего облучения от техногенных источников за вычетом регионального радиационного фона, обусловленного преимущественно природными источниками и техногенным радиационным фоном за счет глобальных выпадений, составляет 10 мкЗв.

СГЭД внутреннего облучения за счет поступления техногенных радионуклидов с питьевой водой из озера Змей составляет 0,02 мкЗв.

Суммарная СГЭД внешнего и внутреннего облучения от техногенных источников составляет для населения 10 мкЗв и не превышает предела дозы, установленного НРБ-99/2009.

Содержание тяжелых металлов в почвах городской среды и питьевой воде. Исследование содержания тяжелых металлов в почвах городской среды мкр. Островной и Гремиха и питьевой воде озера Змей проведено для элементов всех классов химической опасности.

Показано, что в почве содержание металлов 1-го (Pb, As, Cd, Zn) и 2-го (Ni, Cu, Cr) классов опасности превышает фоновые значения в почвах данного региона (табл. 5). Гигиеническая оценка содержания тяжелых металлов показала, что наблюдается превышение допустимого в почве содержания Pb до 7 ПДК, Zn до 9 ОДК. По значению суммарного показателя концентрации Zc почвы большей части территории относятся к категории загрязнения «допустимая» (Zc<16). Максимальное значение Zc = 28, характеризующее загрязнение почвы как «умеренно опасное», обусловлено повышенным содержанием Pb, Cd, Zn (табл. 5).

В воде озера в значимых количествах присутствуют следующие металлы: Al (0,011 ± 0,004 мг/л), Fe (0,03 ± 0,01 мг/л) и Mn (1,0 ± 0,3 мг/л); превышений ПДК не обнаружено. Присутствие элементов первого класса опасности в значимых содержаниях не выявлено. Вода озера по содержанию тяжелых металлов удовлетворяет требованиям качества питьевой воды.

Таблица 4

СГЭД внешнего облучения в районе размещения СЗЦ «СевРАО» отд. Гремиха (данные ТЛ-дозиметров)

Территория	Кол-во изм.	СГЭД внешнего облучения, мЗв		
		минимум	максимум	медиана
Фоновый район (оз. Змей) – на открытой местности	6	0,40	1,40	0,97 (0,40–1,38)
ЗАТО г. Островной: – на открытой местности	16	0,40	1,63	0,98 (0,40–1,56)
– в жилых домах	6	0,40	1,56	0,80 (0,40–1,30)

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов в почве селитебной зоны и фонового района

Элемент	Класс хим. опасности	Содержание тяжелых металлов, мг/кг			Критерии оценки, мг/кг		K _c
		минимум	максимум	медиана	региональный фон	ПДК/ОДК	
Pb	1	35	210	120 (40–190)	18	32	6
Cd	1	0,09	0,90	0,22 (0,09–0,63)	0,06	0,5	3
As	1	0,1	1,2	0,6 (0,1–0,9)	0,3	2	2
Zn	1	97	980	170 (101–680)	58	110	3
Ni	2	23	39	34 (25–37)	20	40	2
Cu	2	15	97	35 (20–78)	12	66	2
Cr	2	28	120	81 (31–113)	34	–	2
V	3	47	93	75 (49–83)	48	150	2
Mn	3	490	610	600 (502–602)	400	1500	1
Ba	3	620	790	700 (630–778)	720	–	1
Sr	3	260	300	280 (265–290)	300	–	1
Zc		2	28	9 (2–17)	–	–	–

¹⁸ Проект обоснования границ санитарно-защитной зоны для Центра по обращению с радиоактивными отходами отделения Гремиха – Северо-Западного центра по обращению с радиоактивными отходами «СевРАО» – филиал федерального государственного унитарного предприятия «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО» (СЗЦ «СевРАО» – филиал ФГУП «РосРАО»). – Мурманск, 2017. – 143 с.

¹⁹ СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901787814> (дата обращения: 10.07.2020).

Комплексный анализ канцерогенных рисков для населения. Результаты экспериментальных исследований по оценке состояния загрязнения окружающей среды в районе расположения объекта ядерного наследия легли в основу расчета показателей канцерогенного риска. Расчеты рисков, основанные на данных натурных исследований, характеризуются рядом неопределенностей, связанных с пространственно-временной неравномерностью распределения загрязнителей в окружающей среде, особенностями экспозиции индивида, временными рамками экспериментальных исследований. В настоящем исследовании оценка риска для здоровья населения проведена на период активной фазы обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и радиоактивными отходами (РАО). Радиационные и химические риски, связанные с загрязнением окружающей среды тяжелыми металлами, определены по консервативному сценарию в отношении гипотетического человека, подвергающегося максимальному существующему воздействию на протяжении периода, соответствующего средней продолжительности жизни человека (70 лет). Во избежание занижения степени опасности для расчета ориентировочных уровней риска использованы значения верхней границы доверительного интервала медианы при $P = 0,95$ с учетом расширенной неопределенности измерений радиационных параметров и содержания тяжелых металлов.

В соответствии с Р 52.18.787-2013 проведен расчет ориентировочных уровней радиационного риска, учитывающий путь облучения техногенными радионуклидами, присутствующими в почве и питьевой воде (табл. 6). Получено, что для населения исследуемой территории риск внешнего облучения на порядок выше риска внутреннего облучения. Уровень суммарного радиационного риска с учетом неопределенности составляет $5 \cdot 10^{-7}$, что соответствует уровню «пренебрежимо малый» (менее $1 \cdot 10^{-6}$). Риск, оцененный по суммарной СГЭД от техногенных источников, также соответствует уровню «пренебрежимо малый».

Оценка ориентировочного уровня риска развития канцерогенных эффектов от воздействия тяжелых металлов, присутствующих в почве селитебной зоны в повышенных по сравнению с фоновыми содержаниях (табл. 7), ввиду отсутствия установленных значений фактора канцерогенного потенциала для Zn, Cu и V выполнена для Pb, As, Cd и Cr (по причине отсутствия содержания Cr (VI) использовано его валовое содержание).

Рассчитанные уровни канцерогенных рисков с учетом всех путей поступления в организм человека (пероральный, ингаляционный и кожный) не превышают границы диапазона минимального канцерогенного риска (менее 10^{-6}), что соответствует критерию приемлемости «пренебрежимо малый».

Таблица 6

Индивидуальный радиационный риск для населения, проживающего в районе размещения СЗЦ «СевРАО» отд. Гремеха

Параметр	Удельная активность, Бк/кг (л) *	Индивидуальный радиационный риск		
		путь облучения		суммарный
		внутреннее	внешнее	
Почва		$3 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$
^{137}Cs	25	$8 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$
^{90}Sr	9	$2 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-9}$
Вода		$1 \cdot 10^{-8}$	–	$1 \cdot 10^{-8}$
^{137}Cs	0,003	$1 \cdot 10^{-9}$	–	$1 \cdot 10^{-9}$
^{90}Sr	0,001	$9 \cdot 10^{-9}$	–	$9 \cdot 10^{-9}$
Общий риск		$1 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$

Примечание: * значение верхней границы доверительного интервала медианы при $P = 0,95$ с учетом расширенной неопределенности измерений.

Таблица 7

Индивидуальный канцерогенный риск химического фактора почвы для населения, проживающего в районе размещения СЗЦ «СевРАО» отд. Гремеха

Параметр	Концентрация, мг/кг*	Индивидуальный канцерогенный риск		
		путь поступления		
		перорально	ингаляционно	накожно
Почва (без учета Cr)		$9 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Pb	190	$4 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-8}$
As	0,9	$3 \cdot 10^{-8}$	$8 \cdot 10^{-9}$	$6 \cdot 10^{-9}$
Cd	0,6	$5 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-8}$
Cr	113	$1 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-6}$

Примечание: * значение верхней границы доверительного интервала медианы при $P = 0,95$ с учетом расширенной неопределенности измерений.

Основываясь на общей концепции линейной зависимости для оценки канцерогенного риска в области малых доз облучения и при малых концентрациях канцерогенных химических веществ, сравнение рисков от исследуемых загрязнителей позволяет говорить об отсутствии превалирующего вклада радиационной или химической компоненты в канцерогенный риск [10].

Выводы. Гигиеническая обстановка в селитебной зоне района расположения бывшей береговой технической базы ВМФ России (п. Гремиха) характеризуется фоновыми содержаниями техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в объектах окружающей среды. Отмечено превышение содержания тяжелых металлов в почве городской среды по сравнению с фоновыми показателями. Сравнительная оценка канцерогенного риска для здоровья населения от воздей-

ствия радиационного фактора и химического загрязнения окружающей среды показала сопоставимые результаты, ориентировочный уровень риска не превышает 10^{-6} и является пренебрежимо малым.

Результаты проведенных исследований позволяют заключить, что на настоящем этапе вывода из эксплуатации объекта СЗЦ «СевРАО» (отд. Гремиха) производственная деятельность не формирует дополнительных рисков для окружающей среды и населения, проживающего в районе его расположения, обусловленных воздействием радионуклидов и тяжелых металлов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Список литературы

1. Линге И.И., Воробьева Л.М., Шашина Т.А. Структура экологических факторов риска для здоровья населения Кольского севера // Гигиена и санитария. – 2009. – № 5. – С. 51–54.
2. Recent developments in assessment of long-term radionuclide behavior in the geosphere-biosphere subsystem / G.M. Smith, K.L. Smith, R. Kowe, D. Pérez-Sánchez, J. Molinero // Journal of Environmental Radioactivity. – 2012. – Vol. 131. – P. 89–109. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2013.10.018
3. Sneve M.K., Popic J.M., Siegien-Iwaniuk K. Regulatory Supervision of Legacy Sites: The Process from Recognition to Resolution. Report of an international workshop. – Lillehammer, 2017. – 115 p.
4. Котенко К.В., Шандала Н.К. Проблемы регулирования ядерного наследия (обзор) // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2013. – Т. 9, № 4. – С. 811–815.
5. Анализ национальной системы нормативного и правового обеспечения радиационной безопасности населения и охраны окружающей среды вблизи объектов и территорий, загрязненных техногенными и природными радионуклидами в результате прошлой деятельности / А.В. Панов, Н.И. Санжарова, А.Н. Переволоцкий, Т.В. Переволоцкая, В.С. Наумов // Радиация и риск. – 2017. – Т. 26, № 2. – С. 107–121.
6. Блинова Л.Д., Душин В.Н. Разработка методологических подходов к оценке риска для населения и окружающей среды при эксплуатации радиационно-опасных объектов в нормальном режиме; сравнительная оценка риска // Труды радиевого института им. В.Г. Хлопина. – 2003. – Т. 10. – С. 92–105.
7. Арутюнян Р.В., Грачёв В.А. Риск-ориентированный подход к анализу безопасного проживания вблизи объектов атомной энергетики. Обзор // Радиация и риск. – 2018. – Т. 27, № 2. – С. 117–140.
8. Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома / под ред. И.И. Линге, И.И. Крышева. – М.: САМ полиграфист, 2015. – 296 с.
9. Актуальные проблемы комплексной гигиенической характеристики факторов городской среды и их воздействия на здоровье населения / Ю.А. Рахманин, С.И. Иванов, С.М. Новиков, Ю.А. Ревазова, Н.В. Русаков // Гигиена и санитария. – 2007. – № 5. – С. 5–8.
10. Методологические подходы к оценке риска для здоровья в гигиенических исследованиях / А.М. Библин, И.А. Зыкова, Т.М. Королева, М.С. Николаевич // Радиационная гигиена. – 2013. – Т. 6, № 2. – С. 32–38.
11. Сравнительная оценка радиационных и токсических рисков в Ангарске / С.В. Панченко, А.А. Аракелян, М.В. Ведерникова, Н.П. Поцяпун, О.А. Каргин, О.Н. Сикора, У.Г. Степанова // Радиация и риск. – 2017. – Т. 26, № 2. – С. 83–96.
12. Опыт практических исследований по сравнительной оценке радиационных и химических рисков здоровью населения от воздействия факторов окружающей среды / С.М. Новиков, Т.А. Шашина, Н.С. Додина, В.А. Кислицин, С.А. Скворонская, А.В. Мацюк, С.В. Панченко, А.А. Аракелян // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 12. – С. 1425–1431.
13. Актуальные проблемы совершенствования оценки риска здоровью населения для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия / Е.Н. Беляев, М.В. Фокин, С.М. Новиков, В.М. Прусаков, Т.А. Шашина, С.Ф. Шахметов // Гигиена и санитария. – 2013. – Т. 92, № 5. – С. 53–55.
14. Романович И.К. Ликвидация ядерного и радиационного наследия России: научное обеспечение радиационно-гигиенического нормирования // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 114–119.
15. Муратов О.Э. Ядерное наследие на Северо-Западе России. Проблемы и решения // Атомная стратегия. – 2019. – № 147. – С. 7–11.
16. Шандала Н.К., Киселев С.М., Титов А.В. Научно-практический опыт надзорной деятельности в области обеспечения защиты населения и окружающей среды на объектах ядерного наследия России // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 83–96.
17. Оценка состояния природной среды в районах расположения объектов ядерного наследия в Дальневосточном регионе России / С.М. Киселев, С.В. Ахромеев, С.А. Гераськин, А.А. Удалова, В.Г. Старинский, В.В. Шлыгин, Т.И. Гимадова, Н.К. Шандала // Вопросы радиационной безопасности. – 2017. – Т. 88, № 4. – С. 27–42.

18. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) / под ред. М.Ф. Киселёва, Н.К. Шандала. – М.: ООО ПКФ «Алана», 2009. – 344 с.

19. Regulatory supervision during decommissioning & dismantling of nuclear submarines in the Russian Northwest / S.M. Kiselev, V.V. Shlygin, S.V. Akhromeev, T.N. Lashchenova, R. Starinskaya, T.I. Gimadova, Ju. Zozul, N.K. Shandala // Seventh International Conference on Radiation in Various Fields of Research. Book of Abstracts. – 2019. – P. 342.

20. Официальный сайт Правительства Мурманской области [Электронный ресурс] // Правительство Мурманской области. – URL: <https://gov-murman.ru/> (дата обращения: 10.07.2020).

Анализ риска для здоровья населения при воздействии радиационных и химических факторов в районе расположения объекта ядерного наследия / С.М. Киселев, Н.К. Шандала, Т.Н. Лащенко, Ю.Н. Зозуль, В.В. Шлыгин, Т.И. Гимадова, А.Н. Малахова // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 38–47. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.04

UDC 614.876+614.878

DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.04.eng



Research article

HEALTH RISK ANALYSIS AS PER RADIATION AND CHEMICAL FACTORS IN A ZONE INFLUENCED BY A NUCLEAR LEGACY OBJECT

**S.M. Kiselev, N.K. Shandala, T.N. Lashchenova, Yu.N. Zozul,
V.V. Shlygin, T.I. Gimadova, A.N. Malakhova**

State Research Center Burnasyan Federal Medical Biophysical center of Federal Medical Biological Agency,
46 Zhivopisnaya Str., Moscow, 123182, Russian Federation

Rehabilitation programs for nuclear legacy objects in north-western regions in Russia involve decommissioning; a former coast technical support base belonging to the RF Navy and located on the Gremikha peninsula in Murmansk region is now being removed from service. At present spent nuclear fuel is being extracted from ship reactors with liquid-metal coolant and nuclear wastes that have been accumulated during active operations are being treated. The current activities at the site result in complex influence on the environment determined by both radiation and non-radiation contaminants.

The present work focuses on examining a hygienic situation existing in residential areas located close to this nuclear legacy object. In general, radiation situation in residential areas is determined by technogenic contaminants, basically ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides.

Our research has revealed that at the moment their contents in the environmental objects correspond to background levels that are typical for the examined region. Chemical contamination detected in residential areas is characterized with elevated heavy metals contents (Cd, As, Pb, V, Zn, Cu etc.) in soils in urban settlements that are higher than background levels. We detected lead and zinc concentrations that were higher than MPC. Total soil contamination with heavy metals (Zc) is still «permissible» in most residential areas. Carcinogenic health risk for people living in the examined residential areas does not exceed 10^{-6} as per radiation and chemical factors.

© Kiselev S.M., Shandala N.K., Lashchenova T.N., Zozul Yu.N., Shlygin V.V., Gimadova T.I., Malakhova A.N., 2021

Sergey M. Kiselev – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory for Regulating Surveillance over Nuclear Legacy Objects (e-mail: sergbio@gmail.com; tel.: +7 (985) 761-10-17; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2613-2293>).

Nataliya K. Shandala – Doctor of Medical Sciences, Deputy to Managing Director (e-mail: shandala-fmbc@bk.ru; tel.: +7 (499) 190-93-29; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1290-3082>).

Tatiana N. Lashchenova – Doctor of Biological Sciences, v (e-mail: tlashchenova@yandex.ru; tel.: +7 (910) 404-91-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6682-1261>).

Yuliya N. Zozul – Candidate of Biological Sciences, Researcher (e-mail: julnik@list.ru; tel.: +7 (985) 920-39-83; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3154-1806>).

Vladimir V. Shlygin – Junior Researcher (e-mail: vladvas83@mail.ru; tel.: +7 (499) 190-94-18; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-9557>).

Tamara I. Gimadova – Senior researcher (e-mail: tamara.gimadova@icloud.com; tel.: +7 (499) 190-96-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9144-2610>).

Anna N. Malakhova – Engineer (e-mail: lawbro@yandex.ru; tel.: +7 (499) 190-96-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3868-3671>).

Research results allow assessing the current hygienic situation as normal and concluding that decommissioning of SZC «SevRAO» objects (Gremikha section) does not exert negative impacts on the environment and health of people living in residential areas located nearby. The obtained data give grounds for controlling activities when environmental monitoring is accomplished during works aimed at recovering contaminated areas where nuclear legacy objects are located.

Key words: radiation-hazardous objects, nuclear legacy, SZC «SevRAO», Gremikha, carcinogenic risk, technogenic radionuclides, heavy metals, hygienic assessment, population health.

References

1. Linge I.I., Vorob'eva L.M., Shashina T.A. The structure of environmental risk factors to the population's health in the Kolsky north. *Gigiena i sanitariya*, 2009, no. 5, pp. 51–54 (in Russian).
2. Smith G.M., Smith K.L., Kowe R., Pérez-Sánchez D., Molinero J. Recent developments in assessment of long-term radionuclide behavior in the geosphere-biosphere subsystem. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2012, vol. 131, pp. 89–109. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2013.10.018
3. Sneve M.K., Popic J.M., Siegien-Iwaniuk K. Regulatory Supervision of Legacy Sites: The Process from Recognition to Resolution. Report of an international workshop. Lillehammer, 2017, 115 p.
4. Kotenko K.V., Shandala N.K. Problems of nuclear heritage regulation (review). *Saratovskii nauchno-meditsinskii zhurnal*, 2013, vol. 9, no. 4, pp. 811–815 (in Russian).
5. Panov A.V., Sanzharkova N.I., Perevolotskii A.N., Perevolotskaya T.V., Naumov V.S. Analysis of the current national regulatory system EOF radiation safety of public and radiation protection of environment nearby facilities and sites outside the facilities contaminated with artificial and natural radionuclides due to their past operation. *Radiatsiya i risk*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 107–121 (in Russian).
6. Blinova L.D., Dushin V.N. Methodological approaches to environmental risk assessment under nuclear facilities normal operation, comparative risk assessment. *Trudy radiyevogo instituta im. V.G. Khlopina*, 2003, vol. 10, pp. 92–105 (in Russian).
7. Arutyunyan R.V., Grachev V.A. Risk-oriented approach to analysis of safety living in the vicinity of atomic energy facilities. Review. *Radiatsiya i risk*, 2018, vol. 27, no. 2, pp. 117–140 (in Russian).
8. Radioekologicheskaya obstanovka v regionakh raspolozheniya predpriyatiy Rosatoma [Radio-ecological situation in regions where Rosatom enterprises are located]. In: I.I. Linge, I.I. Krysheva eds. Moscow, «SAMPoligrafist» Publ., 2015, 296 p. (in Russian).
9. Rakhmanin Yu.A., Ivanov S.I., Novikov S.M., Revazova Yu.A., Rusakov N.V. Topical problems of the comprehensive hygienic characterization of urban environmental factors and their influence on the population's health. *Gigiena i sanitariya*, 2007, no. 5, pp. 5–8 (in Russian).
10. Biblin A.M., Zytkova I.A., Koroleva T.M., Nikolaevich M.S. Methodological approaches to assessments of health risks in hygienic research. *Radiatsionnaya gigiena*, 2013, vol. 6, no. 2, pp. 32–38 (in Russian).
11. Panchenko S.V., Arakelyan A.A., Vedemikova M.V., Potsyapun N.P., Kargin O.A., Sikora O.N., Stepanova U.G. Comparative assessment of radiation and chemical risks in the city of Angarsk. *Radiatsiya i risk*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 83–96 (in Russian).
12. Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislitsin V.A., Skovronskaya S.A., Matsyuk A.V., Panchenko S.V., Arakelyan A.A. The experience of empirical research on comparative assessment of radiation and chemical health risks due to exposure to environmental factors. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 12, pp. 1425–1431 (in Russian).
13. Belyaev E.N., Fokin M.V., Novikov S.M., Prusakov V.M., Shashina T.A., Shayakhmetov S.F. Actual problems of improving the assessment of health risk for assurance of the sanitary and epidemiological well-being. *Gigiena i sanitariya*, 2013, vol. 92, no. 5, pp. 53–55 (in Russian).
14. Romanovich I.K. Termination of the nuclear and radiation legacy of Russia: scientific basis for the radiation-hygienic regulation. *Radiatsionnaya gigiena*, 2019, vol. 12, no. 3, pp. 114–119 (in Russian).
15. Muratov O.E. Yadernoe nasledie na Severo-Zapade Rossii. Problemy i resheniya [Nuclear legacy in north-western Russia. Problems and solutions]. *Atomnaya strategiya*, 2019, no. 147, pp. 7–11 (in Russian).
16. Shandala N.K., Kiselev S.M., Titov A.V. Scientific and practical experience of supervisory activities in the field of the public and environmental protection at the Russian nuclear legacy sites. *Radiatsionnaya gigiena*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 83–96 (in Russian).
17. Kiselev S.M., Akhromeev S.V., Geras'kin S.A., Udalova A.A., Starinskii V.G., Shlygin V.V., Gimadova T.I., Shandala N.K. Assessment of natural environment at nuclear legacy sites located in far eastern region of Russia. *Voprosy radiatsionnoi bezopasnosti*, 2017, vol. 88, no. 4, pp. 27–42 (in Russian).
18. Publikatsiya 103 Mezhdunarodnoi Komissii po radiatsionnoi zashchite (MKRZ) [Publication 103 by the International Commission on Radiological Protection]. In: M.F. Kiselev, N.K. Shandala eds. Moscow, OOO PKF «Alana» Publ., 2009, 344 p. (in Russian).
19. Kiselev S.M., Shlygin V.V., Akhromeev S.V., Lashchenova T.N., Starinskaya R., Gimadova T.I., Zozul Ju., Shandala N.K. Regulatory supervision during decommissioning & dismantling of nuclear submarines in the Russian Northwest. *Seventh International Conference on Radiation in Various Fields of Research. Book of Abstracts*, 2019, pp. 342.
20. Ofitsial'nyi sait Pravitel'stva Murmanskoi oblasti [Murmansk regional government – the official web-site]. *Pravitel'stvo Murmanskoi oblasti*. Available at: <https://gov-murman.ru/> (10.07.2020) (in Russian).

Kiselev S.M., Shandala N.K., Lashchenova T.N., Zozul Yu.N., Shlygin V.V., Gimadova T.I., Malakhova A.N. Health risk analysis as per radiation and chemical factors in a zone influenced by a nuclear legacy object. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 38–47. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.04.eng

Получена: 20.09.2020

Принята: 07.02.2021

Опубликована: 30.03.2021



Научная статья

ВЫЯВЛЕНИЕ ОМИК-МАРКЕРОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКА РАЗВИТИЯ НЕГАТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ У ДЕТЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ МЕДИ И НИКЕЛЯ В КРОВИ

Н.В. Зайцева¹, М.А. Землянова^{1,2}, Ю.В. Кольдибекова¹, Н.И. Булатова¹

¹Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 6140045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

²Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Технология протеомного профилирования является перспективным направлением для исследования и обоснования молекулярных механизмов возникновения и развития ответных реакций организма на негативные воздействия на самых ранних стадиях их формирования, до возникновения симптомов клеточного и органного поражения. Особую актуальность приобретают исследования, направленные на повышение эффективности прогнозирования развития негативных эффектов для задач раннего выявления и профилактики последствий, ассоциированных с воздействием химических факторов среды обитания, в первую очередь с атмосферным воздухом.

Выявлены омик-маркеры для прогнозирования риска развития негативных эффектов у детей с повышенным содержанием меди и никеля в крови.

Выполнено протеомное исследование плазмы крови у детей, моделирование причинно-следственных связей. У детей с повышенным (до 3,5 раза) содержанием в крови меди и никеля выявлено порядка двадцати белковых пятен, достоверно отличающихся от соответствующих данных детей группы контроля. Установлены зависимости увеличения относительного объема трех белковых пятен, включающих аполипопротеин А-I, якорный белок А-киназы 9, витронектин, и уменьшения относительного объема одного белкового пятна, включающего транстиретин, от повышенного содержания в крови меди и никеля ($R^2 = 0,30-0,44$; $p = 0,0001-0,008$). Перечисленные белки являются прогностически значимыми для развития негативных эффектов, связанных с нарушением нейрорегуляции и эндотелиальной дисфункции. Доказана реализация риска развития прогнозируемых негативных эффектов в виде повышенной частоты развития заболеваний нервной и сердечно-сосудистой системы при повышенной концентрации в крови меди и никеля ($R^2 = 0,35-0,96$; $p = 0,0001-0,013$). Установленный перечень потенциальных молекул-мишеней (аполипопротеин А-I, витронектин, якорный белок А-киназы 9, транстиретин) и генов, кодирующих их экспрессию (APOA1, VTN, AKAP9, TTR), обоснован в качестве омик-маркеров развития негативных эффектов со стороны сердечно-сосудистой и нервной систем.

Ключевые слова: медь и никель в крови, риск здоровью, протеомный профиль плазмы крови, нервная система, сердечно-сосудистая система, аполипопротеин А-I, якорный белок А-киназы 9, витронектин, транстиретин.

В связи с приоритетными национальными и международными направлениями стратегического развития научных исследований в области фундаментальной медицины до 2025 г.¹ особую значимость приобретают исследования специфических изменений регуляторных

механизмов гомеостаза организма на молекулярном уровне для эффективного прогнозирования и оценки потенциальных негативных эффектов на самой ранней стадии их формирования, проводимые на научной платформе «Профилактическая среда».

© Зайцева Н.В., Землянова М.А., Кольдибекова Ю.В., Булатова Н.И., 2021

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>).

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

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

Булатова Наталья Ивановна – научный сотрудник лаборатории биохимической и наносенсорной диагностики (e-mail: 1179815@mail.ru; тел.: 8 (3422) 36-80-18; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3392-9097>).

¹ Об утверждении Стратегии развития медицинской науки в Российской Федерации на период до 2025 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 года № 2580-р [Электронный ресурс] // Гарант.Ру. Информационно-правовой портал. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70192396/> (дата обращения: 20.09.2019).

В условиях особого высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами, к числу которых относятся высокотоксичные соединения никеля и меди, существует риск развития негативных эффектов со стороны органов дыхания, системы крови, иммунной и нервной систем².

В связи с этим особую значимость приобретает идентификация изменений гомеостаза на молекулярном уровне. Этим требованиям в полной мере соответствуют исследования пептидных пулов, играющих исключительную роль в биорегуляции в живых организмах. Эффективным инструментом, позволяющим выполнить анализ самих пептидов, их конечных и промежуточных метаболитов в клетке, является технология протеомного профилирования [1–4]. Данный метод позволяет исследовать и обосновывать молекулярные этиопатогенетические механизмы возникновения и развития ответных реакций организма на негативные воздействия на самых ранних стадиях их формирования, еще до возникновения симптомов клеточного и органного поражения, то есть на уровне трансформированного протеомного профиля плазмы крови. Для прогнозирования экспрессии данных пептидов важным является определение генов, их кодирующих, что возможно с помощью существующих баз данных (например Swiss Prot). Обозначенная проблема обуславливает актуальность исследований, направленных на идентификацию молекулярных омик-маркеров с целью раннего выявления и профилактики последствий, ассоциированных с аэрогенным воздействием металлов [5, 6].

Цель исследования – выявление омик-маркеров для прогнозирования риска развития негативных эффектов у детей с повышенным содержанием меди и никеля в крови.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись образцы плазмы крови 20 детей в возрасте 4–6 лет, имеющих повышенное содержание меди и никеля в крови (группа наблюдения), и 10 детей этого же возраста с содержанием в крови изучаемых химических веществ, соответствующих минимальным или референтным значениям (группа контроля).

Настоящие исследования выполнены с соблюдением этических требований Хельсинкской декларации (ред. 2013 г.) и одобрены этическим комитетом ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора. Сравнимые группы сопоставимы по гендерному признаку, возрастному критерию и не имеют различий по социально-экономическим факторам риска здоро-

вью. Законные представители детей добровольно подписали информированное согласие на участие и публикацию данных несовершеннолетних, участвующих в обследовании.

Химико-аналитическое исследование крови на содержание никеля и меди осуществляли в соответствии с действующими в Российской Федерации методическими указаниями МУК 4.1.3230-14 «Измерение массовых концентраций химических элементов в биосредах (кровь, моча) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой»³. Использовано аналитическое оборудование: масс-спектрометр с индуктивно связанной аргоновой плазмой Agilent 7500cx (США).

Исследование протеомного профиля плазмы крови детей группы наблюдения и контроля выполнено по технологии двухмерного электрофореза в полиакриламидном геле в соответствии с методиками, рекомендованными для используемого оборудования [7–9]. Полученные электрофореграммы плазмы крови визуализировали методом окраски серебром и документировали с помощью системы для гель-документирования (BioRad, США). Анализ полученных протеомных карт проводили с помощью программного комплекса PDQuest (Bio-Rad, США). В полученной протеинограмме выделяли значимые белковые пятна по их интенсивности и проводили последующий анализ методом жидкостной хроматографии в сочетании с масс-спектрометрическим анализом (на хроматографе UltiMate 3000 (Германия) и тандемном масс-спектрометре ABSciex 4000 QTRAP с источником ионизации Nanospray 3 (Канада)). Данные тандемных экспериментов обрабатывались программой ProteinPilot, версия 4.5 (AB SCIEX), с идентификацией по базе данных UniProt_sprot_fasta (от 24.11.2017), с выборкой по таксону Homo Sapiens. Основная часть информации о полученных белках экстрагирована из баз данных UniProt. Установление гена, которому соответствует идентифицированный белок, выполнено с помощью базы данных HGNC database of human gene name.

Характеристики выборок представляли в виде среднего значения (*M*) и ошибки репрезентативности (*m*). Статистическую значимость различий переменных между группами наблюдения и сравнения определяли по критерию Манна – Уитни. Статистическую обработку данных осуществляли с помощью пакета программ Statistica 10.

Для сопоставительного анализа прогнозируемых негативных эффектов в исследуемой выборке (возраст 4–6 лет) использовали оценку заболеваемости детей в возрасте 10–12 лет (по МКБ-10) по данным углубленных исследований.

² Р 2.1.10.1920–04. Оценка риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Руководство. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004 – 143 с.

³ МУК 4.1.3230-14. Измерение массовых концентраций химических элементов в биосредах (кровь, моча) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой [Электронный ресурс] / утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А.Ю. Поповой 19 декабря 2014 г. // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/495856222> (дата обращения: 22.09.2019).

Маркерные белковые пятна обосновывали на основании полученных достоверных причинно-следственных связей, описываемых многофакторными моделями зависимости «статистически значимое пятно – концентрация никеля и меди в крови» с помощью линейной регрессии. Достоверность и адекватность полученных моделей оценивали на основе дисперсионного анализа с использованием F -критерия Фишера, коэффициента детерминации (R^2), t -критерия Стьюдента при статистической значимости $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Анализ результатов химико-аналитических исследований крови на содержание никеля и меди позволил установить, что у детей в группе наблюдения выявлен повышенный в 1,2 раза уровень меди ($1,04 \pm 0,09$ мг/дм³) по сравнению с его концентрацией ($0,87 \pm 0,09$ мг/дм³) в группе контроля ($p = 0,011$), а также увеличение содержания никеля в крови ($0,007 \pm 0,002$ мг/дм³) до 3,5 раза относительно значения показателя ($0,002 \pm 0,0001$ мг/дм³) в контрольной группе ($p = 0,001$). Доля проб с содержанием меди и никеля в крови выше референтных значений⁴ ($R/L_{\text{меди}} = 0,09$ мг/дм³,

$R/L_{\text{никеля}} = 0,001$ мг/дм³) составила от 77,0 до 82,0 % от общего числа обследованных детей, в то время как в группе контроля от 10,0 до 20,0 % проб.

В результате проведения двумерного электрофореза получены протеомные карты плазмы крови детей исследуемых выборок, в которых денситометрически определены относительные объемы белковых пятен (рис. 1).

Сравнительный анализ результатов денситометрического измерения протеомных карт плазмы крови обследуемых детей позволил выявить наличие достоверных различий относительного объема порядка 20 белковых пятен у детей группы наблюдения относительно соответствующих данных группы контроля (табл. 1).

У детей группы наблюдения установлено увеличение в 8,0–12,2 раза объема белковых пятен № 12 и № 18, а также уменьшение в 5,4 раза объема пятна № 19 относительно аналогичных пятен у детей в группе контроля ($p = 0,0001$). Выделенные белки и гены, кодирующие их экспрессию, представлены в табл. 2.

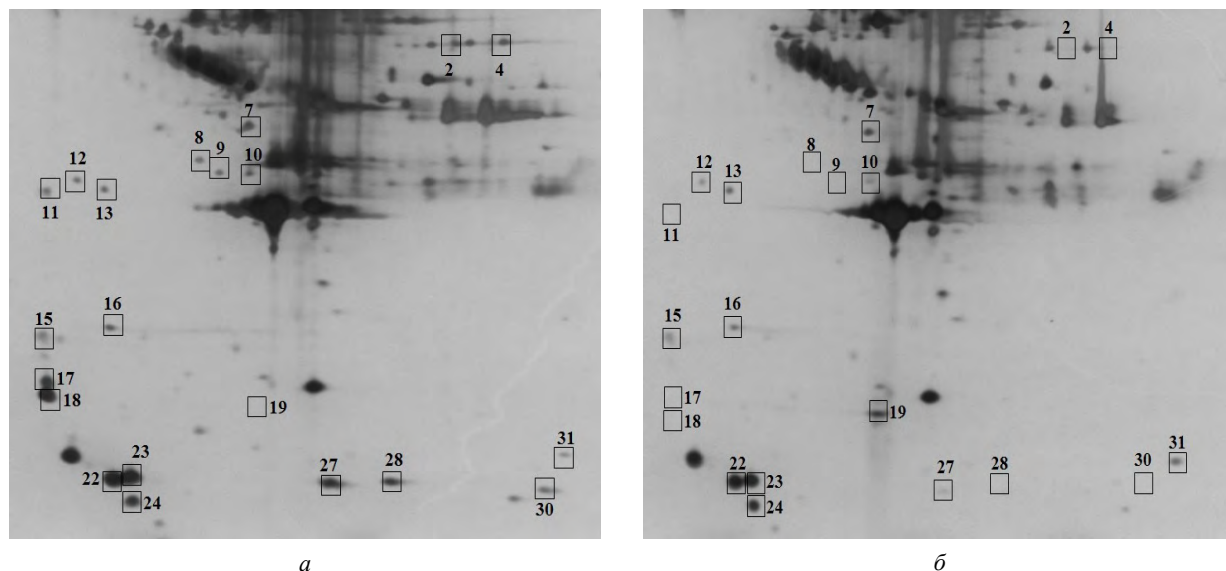


Рис. 1. Фрагмент 2D-геля плазмы крови детей с указанием номера белковых пятен:
а – индивид группы наблюдения; б – индивид группы контроля

Т а б л и ц а 1

Спектр пептидов и белков, выделенных в протеомном профиле плазмы крови детей с повышенным содержанием меди и никеля в крови

Номер пятна	Спектр пептида	Вероятность идентификации пептида, %	Наименование белка
№ 2	RVDGSVDFYRDWATYK	1,0	Фиколин-2
	VDLVDFEDNYQFAK	56,6	
№ 4	VDGSVDFYR	88,0	Фиколин-2
	VDLVDFEDNYQFAK	99,0	
	VNVDEVGGEALGR	99,0	Бета-субъединица гемоглобина
№ 8	INGKPLPGATPAK	40,6	tPHK селеноцистеин 1-ассоциированный белок 1

⁴ Тиц Н.У. Клиническое руководство по лабораторным тестам. – М.: ЮНИМЕД-пресс, 2003. – 570 с.

Номер пятна	Спектр пептида	Вероятность идентификации пептида, %	Наименование белка
№ 9	GLCVATPVQLR	99,0	Дополнение C4-B
	GSFEFPGDVSK	64,9	
	LGQYASPTAKRCCQDGVTR	1,0	
	QRIEALSLMHPSISFSLR	59,0	Белок репарации несоответствия ДНК Mlh3
	DSEATR	1,0	
	FYGFR	1,0	
№ 10	GVGKVPR	34,1	P2Y-пуриноцептор 12
	NIVQNV	26,1	Сидерофлексин-3
№ 11	VSFLSALEEYTK	99,0	Аполипопротеин А-I
	QGLLPVLESFK	33,6	
	VKDLATVYVDVLK	3,8	
	VDLEIQGDVTLSSYVQIR	32,2	Галектин-4
№ 12	DYVSQFEGSALGK	99,0	Аполипопротеин А-I
	QGLLPVLESFK	59,9	
	LLKILLEVVK	52,3	Якорный белок А-киназы 9
№ 13	CYTAVVPLVYGGETK	99,0	J-цепь иммуноглобулина
	FVYHLSLCK	99,0	
	AVHVKAQEDER	1,0	
	NHLLFWGVLAFIK	1,0	
	RPSTPR	73,2	
	EKQFLNAESAYMDPMK	0,2	Белковый фагот
	DRGGRDYPPLR	1,0	
	DSTSTAPDSQR	0,1	
	LEPLGPGSSGRPGK	1,0	
	VLRDGGCSLPIPNITK	0,2	
№ 15	HRAAEAAINILK	72,9	Интерферон-индуцируемый активатор двухцепочечной РНК-зависимой протеинкиназы А
	GLEEELQFSLGSK	99,0	Дополнение C4-B
	DVPRGQVVK	1,0	
	HQDFNSAVQLVENFCR	99,0	Протромбин
	LAVTTTHGLPCLAWASAK	18,3	
№ 16	GLEEELQFSLGSK	99,0	Дополнение C4-B
	MPYSVGFR	23,6	Анкирин-1
	CYGMTDDKVDK	1,0	
№ 17	SIAQYWLGCAPAGHLR	77,2	Витронектин
№ 18	SIAQYWLGCAPAGHLR	95,9	Витронектин
№ 19	GSPAINVAVHVFR	99,0	Транстретин
	TSESGELHGLTTEEFVEGIYK	99,0	
	ALGISPFHEHAEVFTANDSGPR	94,7	
	AADDTWEPFASCK	99,0	
№ 22	DALSSVQESQVAQQR	99,0	Аполипопротеин C-III
	GWVTDGFSSLK	99,0	
	DLTEAVPR	94,1	Миотубулярин
	RDGPGLER	42,7	НАД-зависимый протеин-деацетилаза сиртуин-1
	LKSGSGPVR	32,4	Нуклеоплазмин-3
№ 23	SIAQYWLGCAPAGHLR	99,0	Витронектин
	DALSSVQESQVAQQR	3,9	Аполипопротеин C-III
	GWVTDGFSSLK	42,2	
№ 24	ESLSSYWESAK	99,0	Аполипопротеин C-II
№ 27	FFGHGAEDSLADQAANEWGR	96,5	Сывороточный амилоидный белок А-1
	FFGHGAEDSLAPQAANEWGR	1,0	
	RPGGAWAAEVISNAR	93,0	Сывороточный амилоидный белок А-2
№ 28	SFFSFLGEAFDGR	99,0	Альбумин
	LVAASQAALGLK	79,1	
	APLAKYIGENQDSISK	1,0	
	YIGENQDSISKLLK	1,0	
	VFDEFKPLVEEPQNLK	99,0	
№ 30	SAVTALWGK	99,0	Бета-субъединица гемоглобина
	VNVDEVGGEALGR	99,0	
	VLGAFSDDLHLNLK	55,6	
№ 31	LLVVPWTQR	99,0	Субъединица гемоглобина гамма-2

Таблица 2

Белки и кодирующие их гены, имеющие связь с повышенным содержанием меди и никеля в крови

Номер белкового пятна	Направление изменения объема белкового пятна	Наименование белка	Относительный объем белкового пятна ($M \pm m$), int*		Ген, кодирующий белок	Код гена, коди- рующего белок, в базе данных Swiss Prot
			группа наблюдения ($n = 20$)	группа контроля ($n = 10$)		
12	увеличение	Аполипопротеин А-I	$2099 \pm 135^{**}$	171 ± 46	APOA1	P02647
		Якорный белок А-киназы 9			AKAP9	Q99996
18	увеличение	Витронектин	$2731 \pm 337^{**}$	340 ± 101	VTN	P04004
19	уменьшение	Транстиретин	$498 \pm 143^{**}$	2687 ± 746	TTR	P02766

Примечание:

int* – интенсивность белкового пятна;

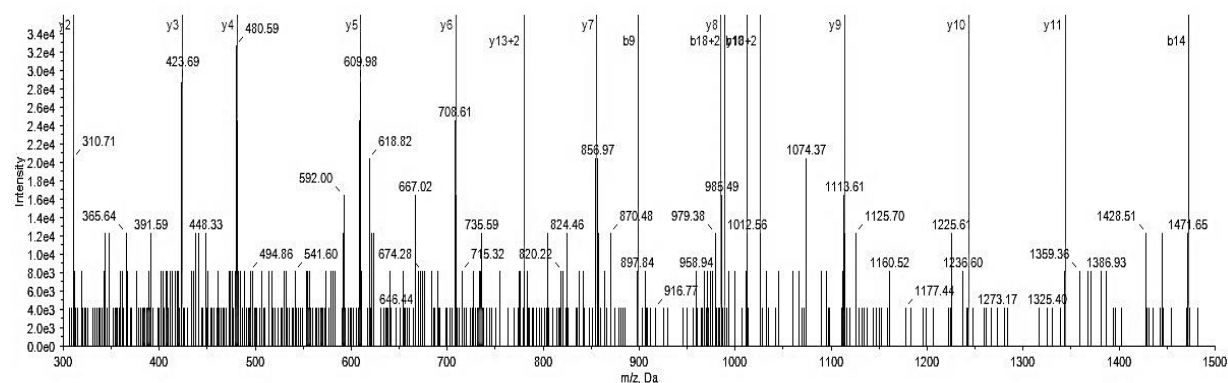
** – достоверность различий средних значений, $p \leq 0,05$.

Рис. 2. Спектр пептида TSESGELHGLTTEEFVEGIYK (Транстиретин) (база данных SwissProt) плазмы крови ребенка в пятне № 19

Пример спектра одного из пептидов, имеющего связь с повышенным содержанием одновременно меди и никеля в крови, представлен на рис. 2.

При построении многофакторных моделей установлены прямые причинно-следственные связи между повышенным содержанием в крови меди, никеля и увеличением относительного объема белкового пятна № 12, включающего последовательность белка аполипопротеина А-I и якорного белка А-киназы 9 ($R^2 = 0,30$; $b_0 = -656,8$; $b_1 = 1801,1$; $b_2 = 63518,1$; $p = 0,008$) и белкового пятна № 18 (витронектин) ($R^2 = 0,44$; $b_0 = -1372,0$; $b_1 = 2743,3$; $b_2 = 112937,0$; $p = 0,0001$). Выявлена также обратная зависимость уменьшения относительного объема белкового пятна № 19, включающего транстиретин, от повышенного содержания меди и никеля в крови ($R^2 = 0,35$; $b_0 = 4870,1$; $b_1 = -3266,9$; $b_2 = -79946,5$; $p = 0,003$).

Анализ биологической функции идентифицированных белков плазмы крови по данным отечественной и зарубежной научной литературы позволяет прогнозировать развитие ряда негативных эффектов со стороны сердечно-сосудистой и нервной систем. Так, установленные белки аполипопротеин А-I и витронектин характеризуют преимущественно дисфункцию эндотелия, что в дальнейшем может способствовать развитию артериальной гипертонии и

кардиомиопатии [10]. Аполипопротеин А-I – липопротеин высокой плотности, обеспечивает освобождение клеток от избытка холестерина, тем самым предотвращает образование атеросклеротических бляшек и способствует повышению эластичности эндотелия сосудов [11–13]. Витронектин – это клеточно-адгезивный гликопротеин, продуцируемый и секретируемый клетками печени, который в патологических условиях ассоциируется с клеточными поверхностями, например, с активированными тромбоцитами и с внеклеточными матрицами различных тканей (фибрин) [14]. В результате происходит усиление адгезии тромбоцитов и их местной агрегации, что подтверждается данными экспериментальных исследований [15, 16]. При увеличении относительного объема белкового пятна, содержащего аполипопротеин А-I и витронектин, в условиях повышенной концентрации в крови меди и никеля, можно прогнозировать повреждение эндотелиальных клеток кровеносных сосудов активными формами кислорода, запуск провоспалительной реакции и освобождение цитокинов из тканей сердца, через транскрипционные факторы NF- κ B (ядерный фактор «каппа-би») и AP-1 (белок-активатор 1), что представлено в ряде зарубежных и отечественных научных работ [17, 18].

Якорный белок А-киназы 9 характеризует изменения в нейрорегуляции, поскольку ряд изоформ данного белка способен связываться с рецептором N-метил-D-аспартата в нервно-мышечном соединении и синапсах нейронов, что предполагает изменение в организации постсинаптической специализации [19]. По данным экспериментальных исследований избыточная экспрессия установленного белка может приводить к увеличению длины митохондрий и мембранного потенциала, что снижает чувствительность нейронов к постоянному напряжению в передаче сигналов [19, 20]. В свою очередь известно, что танситретин – белок, играющий важную роль в развитии нервной системы, нейрональном росте и синаптогенезе, регуляции цитоархитектоники, обеспечивающих когнитивные функции центральной нервной системы (память, эмоциональное состояние, психическое здоровье) [21, 22]. Данное предположение подтверждают результаты зарубежных экспериментальных исследований [21, 23]. Следствием изменения экспрессии танситретина являются возможные когнитивные нарушения и поведенческие отклонения [23].

По результатам сопоставительного анализа установленных изменений протеомного профиля плазмы крови детей в возрасте 4–6 лет и негативных эффектов, фактически реализованных, у детей в возрасте 10–12 лет выявлена достоверно повышенная в 2,2–3,0 раза частота встречаемости заболеваний по классу болезней сердечно-сосудистой (кардиомиопатии: I42) и нервной систем (функциональные расстройства центральной и вегетативной нервной систем: G90.9, G90.8) относительно соответствующих показателей в группе контроля ($p = 0,001–0,032$). При этом у детей старшей возрастной категории установлены достоверные зависимости повышения частоты встречаемости заболеваний нервной системы в виде функциональных расстройств и кардиомиопатий от повышенного содержания в крови меди и никеля ($R^2 = 0,35–0,96$; $-1,94 \leq b_0 \leq -7,22$; $1,76 \leq b_1 \leq 128,64$; $p = 0,0001–0,013$).

Таким образом, обоснованные омик-маркеры (аполипопротеин А-I, витронектин, якорный белок А-киназы 9, танситретин) и гены, кодирующие их экспрессию (APOA1, VTN, AKAP9, TTR), могут быть использованы для повышения эффективности

прогнозирования развития негативных эффектов, связанных с нарушением нейрорегуляции и эндотелиальной дисфункции с целью раннего выявления и профилактики негативных последствий со стороны здоровья у детей в условиях высокой аэрогенной нагрузки меди и никеля.

Выводы:

1. У детей с повышенным до 3,5 раза содержанием в крови меди и никеля выявлено порядка двадцати белковых пятен, достоверно отличающихся от таковых у детей группы контроля.

2. Установлены зависимости увеличения относительного объема трех белковых пятен, включающих аполипопротеин А-I, якорный белок А-киназы 9, витронектин, и уменьшения относительного объема одного белкового пятна, включающего танситретин, от повышенного содержания в крови меди и никеля ($R^2 = 0,30–0,44$; $p = 0,0001–0,008$).

3. Изменения относительного объема белковых пятен, включающих аполипопротеин А-I, якорный белок А-киназы 9, витронектин и танситретин, являются прогностически значимыми для развития негативных эффектов, связанных с нарушением нейрорегуляции и эндотелиальной дисфункции.

4. Доказана реализация прогнозируемых негативных эффектов в виде повышения частоты развития заболеваний нервной и сердечно-сосудистой системы при повышенной концентрации в крови меди и никеля ($R^2 = 0,35–0,96$; $p = 0,0001–0,013$).

5. Для прогнозирования вероятности развития негативных эффектов со стороны сердечно-сосудистой и нервной систем до формирования тканевых и органных поражений обоснован перечень омик-маркеров в виде белков (аполипопротеин А-I, витронектин, якорный белок А-киназы 9, танситретин) и генов, кодирующих их экспрессию (APOA1, VTN, AKAP9, TTR), позволяющий идентифицировать трансформированный протеомный профиль, ассоциированный с аэрогенным воздействием никеля и меди.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Список литературы

1. Barbarini N., Magni P. Accurate peak list extraction from proteomic mass spectra for identification and profiling studies // BMC. Bioinformatics. – 2010. – Vol. 11, № 518. – P. 1–14. DOI: 10.1186/1471-2105-11-518
2. Шендеров Б.А. «Омик» – технологии и их значение в современной профилактической и восстановительной медицине // Вестник восстановительной медицины. – 2012. – № 3. – С. 70–78.
3. Протеомные методы разделения и анализа белков / Т.А. Полунина, Ю.С. Варшавская, Г.В. Григорьева, Я.М. Краснов // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 2014. – № 3. – С. 107–114.
4. Ahn S.-M., Simpson R.J. Body fluid proteomics: Prospects for biomarker discovery // Proteomics Clin. Appl. – 2007. – Vol. 1, № 9. – P. 1004–1015. DOI: 10.1002/prca.200700217

5. The proteome of a healthy human during physical activity under extreme conditions (Reviews) / I.M. Larina, V.A. Ivanisenko, E.N. Nikolaev, A.I. Grigorev // *Acta Naturae*. – 2014. – Vol. 6, № 3 (22). – P. 66–75.
6. How many human proteoforms are there? / R. Aebersold, J. Agar, I. Amster, M.S. Baker, C.R. Bertozzi, E.S. Boja, C.E. Costello, B.F. Cravatt [et al.] // *Nature chemical biology*. – 2018. – Vol. 14, № 3. – P. 206–214. DOI: 10.1038/nchembio.2576
7. PROTEAN i12 IEF System. Instruction Manual. – Hercules: Bio-Rad Laboratories, Inc, 2011. – P. 60.
8. PROTEAN II xi 2D cell. Instruction Manual. – Hercules: Bio-Rad Laboratories, Inc, 2011. – P. 52.
9. ReadyPrep 2-D starter Kit. Instruction manual. – Hercules: Bio-Rad Laboratories, Inc, 2011. – P. 28.
10. Chemical constituents of ambient particulate air pollution and biomarkers of inflammation, coagulation and homocysteine in healthy adults: a prospective panel study / S. Wu, F. Deng, H. Wei, J. Huang, H. Wang, M. Shima, X. Wang, Y. Qin [et al.] // *Part. Fibre Toxicol.* – 2012. – Vol. 9, № 49. – P. 1–13. DOI: 10.1186/1743-8977-9-49
11. Исследование влияния рекомбинантного аполипопротеина А-I на работу сердечной мышцы в эксперименте / Р.А. Князев, Н.В. Трифонова, А.В. Рябченко, М.В. Котова, А.Р. Колпаков, Л.М. Поляков // *Патология кровообращения и кардиохирургия*. – 2018. – Т. 22, № 4. – С. 88–94.
12. Maranhão R.C., Freitas F.R. HDL Metabolism and Atheroprotection: Predictive Value of Lipid Transfers // *Advances in Clinical Chemistry*. – 2014. – № 65. – P. 1–41. DOI: 10.1016/B978-0-12-800141-7.00001-2
13. Клиническое значение аполипопротеинов А и В / Г.А. Чумакова, О.В. Гриценко, Н.Г. Веселовская, Е.В. Вахромеева, А.А. Козаренко // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. – 2011. – Т. 10, № 6. – С. 105–111.
14. Vitronectin improves cell survival after radiation injury in human umbilical vein endothelial cells / H. Masaharu, Y. Takeshi, N. Katsuko, S.-N. Ai, F. Tomoko, M. Yuichi, G. Takaya, T. Katsushi // *FEBS Open Bio*. – 2012. – № 2. – P. 334–338. DOI: 10.1016/j.fob.2012.10.002
15. Ruggeri Z.M., Jackson S.P. Platelet Thrombus Formation in Flowing Blood // *Platelet biology*. – 2013. – № 2. – P. 399–423. DOI: 10.1016/B978-0-12-387837-3.00020-1
16. Plasminogen activator inhibitor-1 and its cofactor vitronectin stabilize arterial thrombi after vascular injury in mice / S. Konstantinides, K. Schafer, T. Thinner, D.J. Loskutoff // *Circulation*. – 2001. – № 103. – P. 576–583. DOI: 10.1161/01.cir.103.4.576
17. Fine particulate matter components and emergency department visits for cardiovascular and respiratory diseases in the St. Louis, Missouri-Illinois, Metropolitan Area / S.E. Sarnat, A. Winkler, J.J. Schauer, J.R. Turner, J.A. Sarnat // *Environ. Health Perspect.* – 2015. – Vol. 123, № 123. – P. 437–444. DOI: 10.1289/ehp.1307776
18. Колпакова А.Ф., Шарипов Р.Н., Колпаков Ф.А. Загрязнения воздуха взвешенными частицами как фактор риска сердечно-сосудистых заболеваний // *Гигиена и санитария*. – 2017. – Т. 96, № 2. – С. 133–137.
19. Liu Yu., Merrill R.A., Strack S. A-Kinase Anchoring Protein 1: Emerging Roles in Regulating Mitochondrial Form and Function in Health and Disease (Review) // *Cells*. – 2020. – Vol. 9, № 298. – P. 2–12. DOI: 10.3390/cells9020298
20. AKAP1 Protects from Cerebral Ischemic Stroke by Inhibiting Drp1-Dependent Mitochondrial Fission / K.H. Flippo, A. Gnanasekaran, G.A. Perkins, A. Ajmal, R.A. Merrill, A.S. Dickey, S.S. Taylor, G.S. McKnight [et al.] // *J. Neurosci.* – 2018. – Vol. 38, № 38. – P. 8233–8242. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0649-18.2018
21. Thyroid hormone signaling and adult neurogenesis in mammals / S. Remaud, J.-D. Gothié, G. Morvan-Dubois, B.A. Demeneix // *Front. Endocrinol.* – 2014. – Vol. 5, № 62. – P. 1–7. DOI: 10.3389/fendo.2014.00062
22. Возможная роль транстиретина в биологическом механизме пептидной нейропротекции / Т.В. Вьюнова, Е.В. Медведева, Л.А. Андреева, Л.В. Дергунова, С.А. Лимборская, Н.Ф. Мясоедов // *Молекулярная генетика, микробиология и вирусология*. – 2016. – Т. 34, № 3. – С. 104–109.
23. Brouillette J., Quirion R. Transthyretin: a key gene involved in the maintenance of memory capacities during aging // *Neurobiol. Aging*. – 2008. – Vol. 29, № 11. – P. 1721–1732. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2007.04.007

Выявление омик-маркеров для прогнозирования риска развития негативных эффектов у детей с повышенным содержанием меди и никеля в крови / Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, Ю.В. Кольдибекова, Н.И. Булатова // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 48–56. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.05

UDC 612.12: 616.092

DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.05.eng

Read
online

Research article

OMIC MARKERS IDENTIFICATION FOR PREDICTING RISKS OF NEGATIVE EFFECTS IN CHILDREN WITH ELEVATED COPPER AND NICKEL CONTENTS IN BLOOD

N.V. Zaitseva¹, M.A. Zemlyanova^{1,2}, Yu.V. Koldibekova¹, N.I. Bulatova¹¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation²Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm, 614990, Russian Federation

Proteomic profiling is a promising procedure for examining and substantiating molecular mechanisms of body reactions occurrence and development as a response to adverse impacts; it allows detecting and examining these reactions at early stages in their development prior to cellular damage and damage to organs. Studies aimed at increasing efficiency of adverse effects prediction are especially vital for solving tasks related to early detection and prevention of consequences associated with exposure to chemical environmental factors, first of all, ambient air.

Our research goal was to identify omic-markers for predicting risks of negative effects in children with elevated copper and nickel contents in blood.

We performed proteomic blood plasma examination in children and modeled cause-and-effect relations. Children with copper and nickel contents in their blood being 3.5 times higher than physiological standard had approximately 20 protein stains that were authentically different from those detected in children from the reference group. We detected correlations between an increase in relative volume of three protein stains including apolipoprotein A-I, anchor protein of A-kinase 9, vitronectin, and a decrease in relative volume of one protein strain including transthyretin and elevated copper and nickel contents in blood ($R^2 = 0.30-0.44$; $p = 0.0001-0.008$). All the above-mentioned proteins have predictive significance when it comes down to negative effects related to neuroregulation disorders and endothelial dysfunction. It was proven that there was a risk of predicted negative effects such as greater frequency of nervous and cardiovascular system diseases in case copper and nickel contents in blood were elevated ($R^2 = 0.35-0.96$; $p = 0.0001-0.013$). The established list of potential target molecules (apolipoprotein A-I, vitronectin, anchor protein of A-kinase 9, and transthyretin) and genes that coded their expression (APOA1, VTN, AKAP9, TTR) was substantiated as omic-markers indicating a possibility that negative effects might occur in the cardiovascular and nervous system.

Key words: copper and nickel in blood, health risk, proteomic profile of blood plasma, nervous system, cardiovascular system, apolipoprotein A-I, anchor protein of A-kinase 9, vitronectin, transthyretin.

References

1. Barbarini N., Magni P. Accurate peak list extraction from proteomic mass spectra for identification and profiling studies. *BMC. Bioinformatics*, 2010, vol. 11, no. 518, pp. 1–14. DOI: 10.1186/1471-2105-11-518
2. Shenderov B.A. «Oмик»-tekhnologii i ikh znachenie v sovremennoi profilakticheskoi i vosstanovitel'noi meditsine [«Omic»-technologies and their significance for contemporary preventive and recovery medicine]. *Vestnik vosstanovitel'noi meditsiny*, 2012, no. 3, pp. 70–78 (in Russian).
3. Polunina T.A., Varshavskaya Yu.S., Grigor'eva G.V., Krasnov Ya.M. Proteomic methods of protein separation and analysis. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*, 2014, no. 3, pp. 107–114 (in Russian).

© Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., Koldibekova Yu.V., Bulatova N.I., 2021

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>).

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

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

Natal'ya I. Bulatova – Researcher at the Laboratory for Biochemical and Nanosensory Diagnostics, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies (e-mail: 1179815@mail.ru; tel.: +7 (3422) 36-80-18; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3392-9097>).

4. Ahn S.-M., Simpson R.J. Body fluid proteomics: Prospects for biomarker discovery. *Proteomics Clin. Appl.*, 2007, vol. 1, no. 9, pp. 1004–1015. DOI: 10.1002/prca.200700217
5. Larina I.M., Ivanisenko V.A., Nikolaev E.N., Grigorev A.I. The proteome of a healthy human during physical activity under extreme conditions (Reviews). *Acta Naturae*, 2014, vol. 6, no. 3 (22), pp. 66–75.
6. Aebersold R., Agar J., Amster I., Baker M.S., Bertozzi C.R., Boja E.S., C.E. Costello, B.F. Cravatt [et al.]. How many human proteoforms are there? *Nature chemical biology*, 2018, vol. 14, no. 3, pp. 206–214. DOI: 10.1038/nchembio.2576
7. PROTEAN i12 IEF System. Instruction Manual. Hercules, Bio-Rad Laboratories, Inc Publ., 2011, 60 p.
8. PROTEAN II xi 2D cell. Instruction Manual. Hercules, Bio-Rad Laboratories, Inc Publ., 2011, 52 p.
9. ReadyPrep 2-D starter Kit. Instruction manual. Hercules, Bio-Rad Laboratories, Inc Publ., 2011, 28 p.
10. Wu S., Deng F., Wei H., Huang J., Wang H., Shima M., Wang X., Qin Y. [et al.]. Chemical constituents of ambient particulate air pollution and biomarkers of inflammation, coagulation and homocysteine in healthy adults: a prospective panel study. *Part. Fibre. Toxicol.*, 2012, vol. 9, no. 49, pp. 1–13. DOI: 10.1186/1743-8977-9-49
11. Knyazev R.A., Trifonova N.V., Ryabchenko A.V., Kotova M.V., Kolpakov A.R., Polyakov L.M. Impact of recombinant apolipoprotein A-I on myocardial function in experiment. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokirurgiya*, 2018, vol. 22, no. 4, pp. 88–94 (in Russian).
12. Maranhão R.C., Freitas F.R. HDL Metabolism and Atheroprotection: Predictive Value of Lipid Transfers. *Advances in Clinical Chemistry*, 2014, no. 65, pp. 1–41. DOI: 10.1016/B978-0-12-800141-7.00001-2
13. Chumakova G.A., Gritsenko O.V., Veselovskaya N.G., Vakhromeeva E.V., Kozarenko A.A. Clinical role of apolipoproteins A and B. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, 2011, vol. 10, no. 6, pp. 105–111 (in Russian).
14. Masaharu H., Takeshi Y., Katsuko N., Ai S.-N., Tomoko F., Yuichi M., Takaya G., Katsushi T. Vitronectin improves cell survival after radiation injury in human umbilical vein endothelial cells. *FEBS Open Bio*, 2012, no. 2, pp. 334–338. DOI: 10.1016/j.fob.2012.10.002
15. Ruggeri Z.M., Jackson S.P. Platelet Thrombus Formation in Flowing Blood. *Platelet biology*, 2013, no. 2, pp. 399–423. DOI: 10.1016/B978-0-12-387837-3.00020-1
16. Konstantinides S., Schafer K., Thinnies T., Loskutoff D.J. Plasminogen activator inhibitor-1 and its cofactor vitronectin stabilize arterial thrombi after vascular injury in mice. *Circulation*, 2001, no. 103, pp. 576–583. DOI: 10.1161/01.cir.103.4.576
17. Sarnat S.E., Winquist A., Schauer J.J., Turner J.R., Sarnat J.A. Fine particulate matter components and emergency department visits for cardiovascular and respiratory diseases in the St. Louis, Missouri-Illinois, Metropolitan Area. *Environ. Health Perspect.*, 2015, vol. 5, no. 123, pp. 437–444. DOI: 10.1289/ehp.1307776
18. Kolpakova A.F., Sharipov R.N., Kolpakov F.A. Air pollution by particulate matter as the risk factor for the cardiovascular diseases. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 2, pp. 133–137 (in Russian).
19. Liu Yu., Merrill R.A., Strack S. A-Kinase Anchoring Protein 1: Emerging Roles in Regulating Mitochondrial Form and Function in Health and Disease (Review). *Cells*, 2020, vol. 9, no. 298, pp. 2–12. DOI: 10.3390/cells9020298
20. Flippo K.H., Gnanasekaran A., Perkins G.A., Ajmal A., Merrill R.A., Dickey A.S., Taylor S.S., McKnight G.S. [et al.]. AKAP1 Protects from Cerebral Ischemic Stroke by Inhibiting Drp1-Dependent Mitochondrial Fission. *J. Neurosci.*, 2018, vol. 19, no. 38, pp. 8233–8242. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0649-18.2018
21. Remaud S., Gothié J.-D., Morvan-Dubois G., Demeneix B.A. Thyroid hormone signaling and adult neurogenesis in mammals. *Front. Endocrinol.*, 2014, vol. 5, no. 62, pp. 1–7. DOI: 10.3389/fendo.2014.00062
22. V'yunova T.V., Medvedeva E.V., Andreeva L.A., Dergunova L.V., Limborskaya S.A., Myasoedov N.F. A possible role of transthyretin in the biological mechanism of regulatory peptide neuroprotection. *Molekulyarnaya genetika, mikrobiologiya i virusologiya*, 2016, vol. 34, no. 3, pp. 104–109 (in Russian).
23. Brouillette J., Quirion R. Transthyretin: a key gene involved in the maintenance of memory capacities during aging. *Neurobiol. Aging.*, 2008, vol. 29, no. 11, pp. 1721–1732. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2007.04.007

Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., Koldibekova Yu.V., Bulatova N.I. Omic markers identification for predicting risks of negative effects in children with elevated copper and nickel contents in blood. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 48–56. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.05.eng

Получена: 12.01.2021

Принята: 15.03.2021

Опубликована: 30.03.2021



Научная статья

ОЦЕНКА И КЛАССИФИКАЦИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ПО УРОВНЮ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ, СВЯЗАННОГО С ХИМИЧЕСКОЙ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ КОНТАМИНАЦИЕЙ

О.Г. Богданова¹, О.А. Молчанова^{1,2}, И.Ю. Тармаева³, Н.В. Ефимова¹¹Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований, Россия, 665827, г. Ангарск, 12а микрорайон, 3²Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Бурятия, Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 456³Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Россия, 109240, г. Москва, Устьинский проезд, 2/14

Проведено исследование по выявлению приоритетности пищевой продукции, обращаемой на региональном потребительском рынке, по уровню риска причинения вреда здоровью.

Исследование осуществлено с применением статистического, аналитического, математического методов, а также методом сравнительного анализа.

Анализ данных лабораторных исследований по санитарно-химическим и физико-химическим показателям за период 2010–2019 гг. свидетельствовал о незначительных рисках, за исключением загрязнения пищевой продукции нитратами. Обращает на себя внимание микробиологическая контаминация, где показатели в сравниваемые 5-летние периоды остаются практически без изменений. При этом выявлены неблагоприятные тенденции: средние показатели за последние пять лет достоверно увеличились по сравнению с 2010–2014 гг. по плодоовощной, птицеводческой, рыбной, алкогольной продукции от 3,53 до 1,44 раза.

В результате проведенных расчетов установлено, что в Республике Бурятия, как и в целом по Российской Федерации, пищевой продукции, которую можно отнести к чрезвычайно высокому риску, нет. Вместе с тем характерны некоторые различия на региональном потребительском рынке по сравнению с Российской Федерацией в целом. Высокий риск сформировала птицеводческая продукция, что не отмечается по Российской Федерации. Хлебобулочная, кондитерская и рыбная продукция, имевшая в Российской Федерации высокие риски, в регионе сформировала риски на уровне значительных. Молочная продукция отнесена к продукции значительного риска. Проведенная комплексная оценка и классификация пищевой продукции по качеству и безопасности с применением анализа рисков позволили определить приоритеты, обусловленные микробиологической контаминацией птицеводческой продукции, что имеет определяющее значение для здоровья населения Республики Бурятия.

Ключевые слова: пищевая продукция, химическая и микробиологическая контаминация, качество и безопасность, риск для здоровья, классификация, комплексная оценка, питание населения, региональные особенности, Республика Бурятия.

© Богданова О.Г., Молчанова О.А., Тармаева И.Ю., Ефимова Н.В., 2021

Богданова Ольга Георгиевна – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории эколого-гигиенических исследований (e-mail: olga.bogdanova2001@gmail.com; тел.: 8 (3955) 58-69-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2358-2280>).

Молчанова Ольга Алексеевна – аспирант, заместитель начальника отдела надзора по гигиене питания и гигиене детей и подростков (e-mail: olga_molchanova_1992@mail.ru; тел.: 8 (3955) 58-69-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5088-4794>).

Тармаева Инна Юрьевна – доктор медицинских наук, профессор, ученый секретарь, ведущий научный сотрудник лаборатории возрастной нутрициологии (e-mail: t38_69@mail.ru; тел.: 8 (495) 698-53-42; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7791-1222>).

Ефимова Наталья Васильевна – доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории эколого-гигиенических исследований (e-mail: medecolab@inbox.ru; тел.: 8 (3955) 58-69-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7218-2147>).

Приоритет защиты жизни и здоровья потребителей пищевой продукции (ПП) по отношению к экономическим интересам индивидуальных предпринимателей и юридических лиц, осуществляющих деятельность, связанную с обращением ПП, согласно новеллам¹ Федерального закона «О качестве и безопасности пищевых продуктов» является одним из основных принципов здорового питания [1–3]. Актуальность проблемы обеспечения качества ПП с каждым годом возрастает, поскольку этот аспект, касающийся обеспечения безопасности продовольственного сырья и продуктов, в том числе посредством соблюдения требований технических регламентов Таможенного союза и Евразийского экономического союза, является одним из основных факторов, определяющих здоровье людей и сохранение генофонда [4–9].

Обеспечение устойчивости данного фактора в настоящее время представляет одну из самых трудных насущных задач, стоящих перед цивилизацией и привлекающих внимание международных организаций [10]. Приведем официальные данные ВОЗ. По состоянию на 2019 г. небезопасные продукты питания, содержащие болезнетворные бактерии и канцерогенные вещества, являются причиной более чем 200 заболеваний, от диареи до рака. По оценкам: 600 млн человек – почти каждый десятый человек в мире – заболевают после употребления загрязненных пищевых продуктов и 420 тысяч человек ежегодно умирают, что приводит к потере 33 млн лет здоровой жизни (DALY) [11].

Инновационные технологии производства и хранения ПП существенно изменили образ жизни и структуру питания населения, прежде всего экономически развитых стран [12]. При этом в рационе современного человека превалирует готовая кулинарная продукция, приобретаемая в предприятиях общественного питания и торговли, изготовленная с применением жестких технологических и кулинарных способов ее производства и хранения, приводящих впоследствии к потере эссенциальных (незаменимых) пищевых веществ, прежде всего витаминов и некоторых минералов, а также к кумуляции в них технологических контаминантов [13]. С 2011 г. законодательством ЕАЭС о техническом регулировании состоялось правовое закрепление необходимости осуществления ХАССП, а также определены его основные принципы (Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP)). Вместе с тем даже в условиях контроля производства ПП с использованием принципов ХАССП выпускаемая продукция в результате ее оборота на по-

требительском рынке может приобрести ряд свойств, представляющих опасность для здоровья населения, и в дальнейшем явиться причиной возникновения инфекционных и неинфекционных заболеваний [14]. Исследования пищевой продукции по ее соответствию санитарно-эпидемиологическим требованиям и оценке по риску причинения вреда здоровью проводились в г. Москве, Пермском, Приморском крае, Самарской, Оренбургской, Воронежской области, республиках Татарстан, Башкортостан и др. [4, 15–20]. Сложившаяся ситуация характерна не только для России, но и для таких развитых государств мира, как Швеция, США, Италия, Франция, Германия, и др. В этих странах хоть и имеет место широкий ассортимент ПП, но высок и уровень заболеваний, обусловленных влиянием контаминированной ПП [21–31]. Вместе с тем не встречается исследований, направленных не только на выявление региональных особенностей контаминации пищевой продукции, но и последующее классифицирование уровня опасности и характера потенциального риска причинения вреда здоровью вследствие употребления ПП. Важной практической задачей является научное обоснование периодичности и объема отбора проб продукции при проведении плановых проверок.

Цель исследования – выявить приоритетную пищевую продукцию по уровню риска причинения вреда здоровью, обусловленного их микробиологической и химической контаминацией. В качестве примера был рассмотрен один из субъектов Дальневосточного федерального округа, являющегося приграничной территорией и имеющего региональные особенности в структуре питания и контаминации пищи.

Материалы и методы. Сведения о контаминации ПП получены в региональных информационных фондах социально-гигиенического мониторинга Управления Роспотребнадзора по Республике Бурятия, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Бурятия». За 2010–2019 гг. проведен анализ результатов исследований по протоколам лабораторных испытаний 157 440 проб ПП, отобранных на потребительском рынке Республики Бурятия, в том числе по микробиологическим показателям – 89 921 проба, санитарно-химическим – 27 268, паразитологическим – 16 460, физико-химическим – 17 974, радиологическим – 1204, на наличие ГМО – 3872, антибиотиков – 741. Оценку результатов лабораторных исследований провели согласно техническим регламентам Таможенного

¹О внесении изменений в Федеральный закон «О качестве и безопасности пищевых продуктов» и статью 37 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации: Федеральный закон от 01.03.2020 № 47-ФЗ [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: <https://fcrisk.antiplagiat.ru/report/export/684?v=1&c=0&short=False> (дата обращения: 30.09.2020).

союза². Рассчитывали процент и долю исследований, результаты которых не соответствовали санитарно-эпидемиологическим требованиям от общего числа исследований за каждый год и среднее значение за пятилетние периоды (2010–2014, 2015–2019 гг.).

Потенциальный риск причинения вреда здоровью вследствие употребления населением конкретной ПП ($R^1_{\text{ппц}}$) рассчитывался по формулам (1)–(3) на основании данных государственной ведомственной статистики по формам: федеральное статистическое наблюдение № 18 «Сведения о санитарном состоянии субъекта Российской Федерации» (раздел 8 «Гигиеническая характеристика продовольственного сырья и пищевых продуктов») по Республике Бурятия за 2017–2019 гг.; статистический бюллетень «Потребление основных продуктов питания населением Российской Федерации» по Республике Бурятия в соответствии с методическими рекомендациями³.

$$R^1_{\text{ппц}} = \sum_i (p^1_i \cdot u^1_i) \cdot W, \quad (1)$$

где p^1_i – частота (вероятность) нарушений обязательных требований безопасности к ПП по i -му фактору опасности в ходе одной проверки; u^1_i – относительный вред здоровью, формируемый нарушением санитарно-эпидемиологических требований к i -му фактору опасности ПП, согласно приложению № 3 к методическим рекомендациям; W – коэффициент, характеризующий региональные особенности потребления различной ПП.

$$p^1_i = m_i / n_i, \quad (2)$$

где m_i – число исследований ПП с превышением нормативного значения i -го фактора в год; n_i – общее число исследований i -го фактора в год.

$$W = V / V_{\text{рф}}, \quad (3)$$

где V – фактическое потребление ПП в год на одного жителя Республики Бурятия (кг/г., л/г., шт./г.); $V_{\text{рф}}$ – среднероссийское фактическое потребление ПП в год на одного жителя (кг/г., л/г., шт./г.).

Статистическая обработка результатов исследования проведена с помощью программного средства Statistica. v.10.0 согласно общепринятым мето-

дикам. Результаты представлены в виде средней величины с 95%-ным доверительным интервалом (ДИ). Сравнение проведено по t -критерию Стьюдента за вышеуказанные пятилетние периоды сравнения.

Результаты и их обсуждение. За анализируемый период 2010–2019 гг. в среднем по Республике Бурятия доля ПП, превышающей гигиенические нормативы по микробиологическим показателям, составила 4,06 % (3,86; 4,26); по санитарно-химическим – 4,71 % (4,09; 5,33); по паразитологическим – 0,10 % (0,07; 0,14); физико-химическим – 7,57 % (6,92; 8,22); антибиотикам – 0,40 % (0,17; 0,64). Содержание ГМО более 0,9 % и радиоактивных веществ в концентрациях, превышающих нормативы, не выявлено. Отмечено стабильное количество проб ПП, не соответствующих регламентам (табл. 1).

В целом динамика средних показателей присутствия в ПП контаминантов химической и микробиологической природы в течение последних пяти лет по сравнению с предыдущим пятилетним периодом не имела статистических различий ($p > 0,05$). Исключением явились два показателя: доли проб ПП, превышающих гигиенические нормативы по санитарно-химическим и физико-химическим показателям, где статистические различия были достоверны ($p \leq 0,01$).

При анализе результатов исследований ПП по санитарно-химическим показателям на протяжении 10-летнего периода характерной чертой явилось превышение гигиенических нормативов, обусловленное нитратной контаминацией плодоовощной продукции (картофель, овощи и бахчевые культуры). Превышение содержания нитратов в указанной продукции в период 2010–2019 гг. установлено в среднем на уровне 5,55 % (5,06; 6,05) (табл. 1). В период 2015–2019 гг., по сравнению с 2010–2014 гг., удельный вес проб плодоовощной продукции с превышением содержания нитратов снизился в 1,47 раза – с 6,37 % (5,63; 7,12) до 4,32 % (3,92; 4,72), однако различия не явились статистически значимыми ($p > 0,05$).

По остальным санитарно-химическим показателям за весь анализируемый период превышений гигиенических нормативов в ПП не установлено. Исключение составили последние два года, когда отмечались единичные превышения по содержанию

² ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 30.09.2020); ТР ТС 023/2011. Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902320562> (дата обращения: 30.09.2020); ТР ТС 024/2011. Технический регламент на масложировую продукцию [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902320571> (дата обращения: 30.09.2020); ТР ТС 033/2013. О безопасности молока и молочной продукции [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/499050562> (дата обращения: 30.09.2020); ТР ТС 034/2013. О безопасности мяса и мясной продукции [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/499050564> (дата обращения: 30.09.2020).

³ МР. Классификация пищевой продукции, обращаемой на рынке, по риску причинения вреда здоровью и имущественных потерь потребителей для организации плановых контрольно-надзорных мероприятий [Электронный ресурс] / утв. Приказом Роспотребнадзора от 18.01.2016 № 16. – URL: <http://base.garant.ru/71313192/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения: 30.09.2020).

Таблица 1

Результаты исследований пищевой продукции на соответствие гигиеническим нормативам за период 2010–2019 гг.

Показатель	Удельный вес проб пищевой продукции с превышением гигиенических нормативов (средние значения и ДИ), %			Статистическая значимость отличий <i>p</i>
	2010–2014	2015–2019	2010–2019	
Санитарно-химические показатели, в том числе	5,97 (5,33; 6,61)	2,57 (2,43; 2,71)	4,71 (4,09; 5,33)	≤0,01
тяжелые элементы (Pb, As, Cd, Hg)*	0,00	0,08 (0,05; 0,12)	0,05 (0,01; 0,08)	> 0,05
йод	3,49 (2,92; 4,06)	2,0 (1,85; 2,15)	2,79 (2,49; 3,09)	> 0,05
нитраты	6,37 (5,63; 7,12)	4,32 (3,92; 4,72)	5,55 (5,06; 6,05)	> 0,05
Физико-химические показатели	8,89 (8,24; 9,55)	5,43 (5,21; 5,66)	7,57 (6,92; 8,22)	≤0,01
Микробиологические показатели	3,98 (3,67; 4,29)	4,15 (3,92; 4,38)	4,06 (3,86; 4,26)	> 0,05
Патогенные микроорганизмы, в том числе возбудители сальмонеллеза	0,17 (0,13; 0,21)	0,31 (0,20; 0,41)	0,23 (0,13; 0,34)	> 0,05
Паразитологические показатели	0,18 (0,12; 0,24)	0,02 (0,00; 0,05)	0,10 (0,07; 0,14)	> 0,05

Примечание: * – по результатам исследований обнаружены Pb и Cd.

токсичных элементов Pb и Cd в ПП. Средний показатель за 2010–2019 гг. составил 0,05 %. Единичные превышения обнаруживались в 2018 г. в группе «Биологически-активные добавки» по 0,16 % от числа исследованных проб по данным показателям, в 2019 г. – в группе «Молоко и молочные продукты» по 0,15 % соответственно, что можно отнести к категории «случайных находок».

Доля проб йодированной соли с содержанием йода ниже заявленных производителем требований за последние пять лет снизилась в 1,75 раза по сравнению с предыдущим пятилетним периодом и составила 2,0 % (1,85; 2,15) и 3,49 % (2,92; 4,06) соответственно, но различия не имели статистической значимости ($p > 0,05$).

Последние годы характеризовались более пристальным вниманием к соответствию ПП требованиям нормативной документации по физико-химическим показателям. Удельный вес ПП, не стандартной по данному показателю, в период 2015–2019 гг. в среднем составил 5,43 % (5,21; 5,66), что достоверно ниже в 1,64 раза по сравнению с предыдущим пятилетним периодом – 8,89 % (8,24; 9,55) ($p \leq 0,01$).

Микробиологическая контаминация ПП в сравниваемые периоды практически оставалась без изменений. Так, в период 2010–2014 гг. доля ПП с превышением гигиенических нормативов по микробиологическим показателям составила 3,98 % (3,67; 4,29), в 2015–2019 гг. – 4,15 % (3,92; 4,38), различия не имели статистической значимости ($p > 0,05$). Высокий удельный вес проб ПП с превышением гигиенических нормативов по микробиологическим показателям за 10 анализируемых лет отмечался в группах: «Молоко, молочные продукты» – 9,53 % (8,76; 10,31); «Рыба, нерыбные объекты промысла и продукты, вырабатываемые из них» – 6,88 % (5,96; 7,80); «Плодоовощная продукция» – 6,21 % (3,25; 9,18); «Алко-гольные напитки» – 5,89 % (4,98; 6,81); «Хлебо-булочные и кондитерские изделия» – 5,79 % (5,52; 6,07); «Мясо и мясные продукты» – 4,96 % (4,72; 5,20); «Птица, яйца и продукты их переработки» – 4,90 %

(3,96; 5,83); «Кулинарные изделия» – 3,32 % (3,09; 3,55). В динамике средние показатели за пятилетние периоды сравнения достоверно увеличились в четырех группах ПП: «Плодоовощная продукция» – в 3,53 раза; «Птица, яйца и продукты их переработки» – в 3,0 раза; «Рыба, нерыбные объекты промысла и продукты, вырабатываемые из них» и «Биологически активные добавки к пище» – в 1,82 раза (табл. 2). По остальным группам ПП достоверно значимого увеличения или снижения не отмечалось.

Удельный вес проб ПП с превышением содержания патогенных микроорганизмов в нормируемой массе продукта в анализируемый период характеризовался незначительным увеличением: в 2015–2019 гг. – 0,31 % (0,20; 0,41) в сравнении с 2010–2014 гг. – 0,17 % (0,13; 0,21). Наиболее опасными в микробиологическом отношении за 10-летний период явились пять групп ПП, где обнаруживались патогенные микроорганизмы в количестве, превышающем гигиенические нормативы. К ним относятся группы: «Птица, яйца и продукты их переработки» – 3,77 % (2,81; 4,73); «Плодоовощная продукция» – 1,62 % (–2,51; 5,75); «Мясо и мясные продукты» – 0,85 % (0,76; 0,94); «Кулинарная продукция» – 0,07 % (0,05; 0,09); «Хлебобулочные и кондитерские изделия» – 0,05 % (0,04; 0,07).

В динамике данные показатели характеризовались увеличением доли проб ПП с превышением количества патогенных микроорганизмов в 2015–2019 гг. по сравнению с предыдущим пятилетним периодом. Наибольшее увеличение отмечалось в группе «Птица, яйца и продукты их переработки» – в 3,50 раза. В группе «Плодоовощная продукция» от отсутствия несоответствующих проб – до 6,78 %. В отношении групп ПП «Мясо и мясные продукты» и «Кулинарная продукция» отмечалась достаточно стабильная ситуация по обнаружению в них патогенных микроорганизмов, значимые различия отсутствовали: 0,77 % (0,64; 0,89) в 2010–2014 гг. и 1,0 % (0,76; 1,23) в 2015–2019 гг.; 0,06 % (0,01; 0,11) в 2010–2014 гг. и 0,08 % (0,04; 0,12) в 2015–2019 гг. соответственно.

Таблица 2

Результаты микробиологических исследований отдельных групп пищевой продукции
за период 2010–2019 гг.

Продовольственное сырье и пищевые продукты	Удельный вес проб пищевой продукции с превышением гигиенических нормативов (средние значения и ДИ), %			Статистическая значимость отличий p
	2010–2014 гг.	2015–2019 гг.	2010–2019 гг.	
Мясо и мясные продукты	4,73 (4,26; 5,20)	5,35 (4,81; 5,89)	4,06 (3,93; 4,19)	$> 0,05$
Птица, яйца и продукты их переработки	2,52 (1,94; 3,10)	7,55 (5,06; 10,04)	4,90 (3,96; 5,83)	$\leq 0,01$
Молоко, молочные продукты	10,56 (8,52; 12,59)	8,36 (7,41; 9,30)	9,53 (8,76; 10,31)	$> 0,05$
Рыба, нерыбные объекты промысла и продукты, вырабатываемые из них	5,25 (4,37; 6,13)	9,55 (7,19; 11,90)	6,88 (5,96; 7,80)	$\leq 0,01$
Хлебобулочные и кондитерские изделия	6,22 (5,75; 6,70)	5,12 (4,51; 5,72)	5,79 (5,52; 6,07)	$> 0,05$
Плодоовощная продукция	3,92 (2,63; 5,21)	13,82 (6,37; 21,27)	6,21 (3,25; 9,18)	$\leq 0,01$
Кулинарные изделия	2,92 (2,34; 3,49)	3,48 (3,11; 3,86)	3,32 (3,09; 3,55)	$> 0,05$
Масложировая продукция	1,46 (0,83; 2,10)	2,51 (1,67; 3,35)	1,99 (1,63; 2,35)	$> 0,05$
Алкобольные напитки	4,97 (3,56; 6,37)	7,14 (4,85; 9,44)	5,89 (4,98; 6,81)	$> 0,05$
Безалкогольные напитки	0,84 (0,65; 1,04)	1,93 (0,90; 2,95)	1,17 (0,82; 1,53)	$> 0,05$
БАД	0	3,18 (1,36; 5,0)	2,81 (–1,09; 6,71)	$\leq 0,01$

Установлено, что доля ПП с обнаружением возбудителей сальмонеллезов из числа проб ПП с выделением патогенных микроорганизмов в нормируемой массе продукта, в которой они не допускаются, за период 2015–2019 гг. составляла 99,17 % (98,73; 99,60), что ниже аналогичного показателя в 2010–2014 гг. – 96,34 % (94,71; 97,98).

Проведенный анализ результатов исследований ПП по санитарно-химическим, микробиологическим, паразитологическим, физико-химическим показателям за 2010–2019 гг. методом линейной аппроксимации позволяет прогнозировать величину выявляемости нестандартных проб. Как следует из данных табл. 3, коэффициент аппроксимации по санитарно-химическим и физико-химическим показателям приближен к 1,0 и свидетельствует о том, что с возрастанием количества исследованных проб ПП прогнозируется увеличение количества проб с превышением нормативов.

В свою очередь по микробиологическим и паразитологическим показателям – $R^2 = 0,24$ и $0,37$ соответственно – такая взаимосвязь отсутствует. Это подтверждает факт, что обнаружение ПП с превышением гигиенических нормативов по микробиологическим и паразитологическим показателям зависит не только от общего количества исследований ПП по данным показателям. Можно прогнозировать, что дальнейшее увеличение количества исследований по данным критериям в ходе плановых проверок не приведет к росту выявляемости нарушений гигиенических требований. По обнаружению возбудителей сальмонеллезов коэффициент аппроксимации практически равен 1,0. Это свидетельствует о прямой взаимосвязи увеличения числа проб ПП с превышением количества патогенных микроорганизмов в нормируемой массе продукта, и прогнозируется увеличение находок возбудителей сальмонеллезов.

В целях отнесения ПП к тому или иному классу по риску причинения вреда здоровью потребителей с учетом региональных особенностей потребления

проведены расчеты уровня риска причинения вреда здоровью вследствие употребления населением пищевых продуктов, не соответствующих требованиям безопасности, результаты которых представлены в табл. 4 в сравнении с данными по РФ [14].

Приведенные данные свидетельствуют о незначительных рисках химической контаминации, за исключением загрязнения ПП нитратами. В отношении микробиологической контаминации, несмотря на сложившуюся стабильность ситуации на потребительском рынке Республики Бурятия, вызывают опасение следующие группы ПП: «Птица, яйца и продукты их переработки» и «Плодоовощная продукция». Средняя за период 2015–2019 гг. вероятность нарушения обязательных требований безопасности к птицеводческой продукции, обусловленная превышением количества патогенных микроорганизмов, увеличилась в 3,5 раза – с $1,75 \cdot 10^{-2}$ до $6,12 \cdot 10^{-2}$ по сравнению с предыдущим пятилетним периодом, в плодоовощной продукции – с 0 до $6,78 \cdot 10^{-2}$ соответственно. Проведенный анализ коэффициентов аппроксимации позволил прогнозировать увеличение находок возбудителей сальмонеллезов с возрастанием числа проб ПП и превышение количества обнаруженных патогенных микроорганизмов по сравнению с санитарными нормами.

Необходимо отметить, что в течение последних пяти лет происходит изменение в структуре выделения серологических вариантов сальмонелл. Оно характеризуется незначительным увеличением количества выделяемых сальмонелл группы С (*S. Infantis*). Это согласуется с данными Р. Antunes et al. о заметном снижении *S. Enteritidis* и увеличении серотипов, отличающихся большей адаптивностью и антибиотикорезистентностью, таких как *S. Infantis*, *S. Kentucky* и др. [32]. Вместе с тем, по данным Т. Oscar, в разработанной модели прогнозирования распространенность сальмонелл не коррелировала ($r = -0,39$; $p = 0,21$) с риском развития сальмонеллеза. Другие факторы – количество сальмонелл, их вирулентность, частота

Таблица 3

Динамика показателей, характеризующих качество ПП, за период 2010–2019 гг.

Показатель y	Зависимость от количества исследований x	Коэффициент аппроксимации R^2	p
Санитарно-химические	$y = 0,09x - 126,55$	0,89	0,32
Физико-химические	$y = 0,12x - 86,47$	0,85	0,33
Микробиологические	$y = 0,03x + 75,08$	0,24	0,10
Возбудители сальмонеллез*	$y = 0,9928x - 0,2543$	0,99	0,35
Паразитологические	$y = 0,01x - 18,35$	0,37	0,02

Примечание: * – из числа проб ПП с превышением количества патогенных микроорганизмов в нормируемой массе продукта.

Таблица 4

Классификация пищевой продукции, обращаемой на территории Республики Бурятия, по риску причинения вреда здоровью вследствие употребления населением конкретной пищевой продукции, не соответствующей требованиям безопасности

Наименование пищевой продукции	Республика Бурятия			Характеристика потенциального риска причинения вреда здоровью / класс опасности причинения вреда здоровью в Российской Федерации [14]
	W – коэффициент, характеризующий региональные особенности потребления	R – потенциальный риск причинения вреда здоровью	Характеристика потенциального риска причинения вреда здоровью / класс опасности причинения вреда здоровью	
Птица, яйца и продукты их переработки	0,88	$1,54 \cdot 10^{-2}$	Высокий / класс 2	Значительный / класс 3
Хлебобулочные и кондитерские изделия	1,16	$3,97 \cdot 10^{-3}$	Значительный / класс 3	Высокий / класс 2
Рыба и рыбопродукты	0,91	$2,82 \cdot 10^{-3}$	Значительный / класс 3	Высокий / класс 2
Молоко и молочные продукты	0,78	$1,58 \cdot 10^{-3}$	Значительный / класс 3	Значительный / класс 3
Мясо и мясопродукты	0,75	$7,21 \cdot 10^{-5}$	Средний / класс 4	Значительный / класс 3
Картофель	1,44	$2,76 \cdot 10^{-4}$	Средний / класс 4	Умеренный / класс 5
Кулинарные изделия*	0,94	$2,46 \cdot 10^{-4}$	Средний / класс 4	Значительный / класс 3
Масложировые продукты	0,80	$2,17 \cdot 10^{-4}$	Средний / класс 4	Умеренный / класс 5
Овощи	0,70	$1,30 \cdot 10^{-5}$	Умеренный / класс 5	Умеренный / класс 5
Консервы*	1,0	$1,44 \cdot 10^{-5}$	Умеренный / класс 5	Значительный / класс 3
БАД*	0,70	$1,41 \cdot 10^{-5}$	Умеренный / класс 5	Умеренный / класс 5

Примечание: * R – потенциальный риск причинения вреда здоровью вследствие употребления населением конкретного пищевого продукта, рассчитан по средним значениям раздела 8 статистической формы № 18 за 2017–2019 гг.

и степень недоваривания мяса птицы, поведение при потреблении пищи и резистентность организма человека – изменяли риск развития сальмонеллеза. Это в совокупности обуславливает необходимость более целостного подхода с оценкой технологических и поведенческих рисков и согласуется с данными E. Lambertinia et al., Y. Cui et al. [33–35].

В результате проведенных расчетов потенциального риска причинения вреда здоровью вследствие употребления населением конкретного пищевого продукта установлено, что в Республике Бурятия, так же, как и в целом по Российской Федерации, нет пищевой продукции, отнесенной по классификации к продукции чрезвычайно высокого риска [14]. Вместе с тем характерны некоторые различия на региональном потребительском рынке по сравнению с данными по Российской Федерации в целом. Так, высокий риск сформировала группа ПП «Птица, яйца и продукты их переработки», что обусловлено микробиологической патогенной контаминацией за счет сальмонелл, чего не выявлено в среднем по Россий-

ской Федерации. В связи с этим данная продукция однозначно подлежит контролю в 100 % случаев по перечню факторов, определяемых по результатам предыдущих проверок субъектов предпринимательства. Хлебобулочная и кондитерская продукция, рыба и рыбные продукты, имевшие в среднем по Российской Федерации высокие риски, на потребительском рынке республики сформировали риски на уровне значительных. Кроме этого, к продукции значительного риска относится группа товаров «Молоко и молочная продукция». Средние риски с уровнем контроля 50 % при проведении плановых проверок субъектов предпринимательства отмечены у следующих групп ПП: «Мясо и мясные продукты», «Картофель», «Масложировая продукция и кулинарные изделия». Овощи, консервы и БАД к пище по расчетным данным отнесены к категории ПП с умеренными рисками и уровнем контроля 10 %. Остальные виды продукции сформировали низкие уровни риска. Они отнесены к ПП, подлежащей документарному контролю по остаточному принципу.

Выводы. Результаты проведенной комплексной оценки качества и безопасности ПП позволили провести классифицирование пищевой продукции по риску причинения вреда здоровью с выявлением приоритетов, что имеет определяющее значение для общественного здоровья населения Республики Бурятия. При увеличении количества целенаправленных исследований прогнозируется рост выявления нарушений гигиенических требований по санитарно-химическим и физико-химическим показателям. Микробиологическая контаминация птицеводческой продукции, представленной на региональном потребительском рынке, определяет наибольший риск для здоровья населения.

В связи с этим необходимо продолжить проведение мониторинга во взаимодействии с ветеринарной службой в целях обеспечения безопасности пищевых продуктов и здоровья животных, а также осуществление «стратегии сдерживания», направ-

ленной на минимизацию микробиологического загрязнения и уменьшение путей передачи сальмонелл по пищевой цепочке (от первичного производства до потребления).

В условиях глобализации торговли пищевой продукцией увеличение потребительского спроса на мясо птицы характерно и для регионального уровня, особенно в странах со средним и низким уровнем дохода. В совокупности с популяризацией употребления данного вида продукта в СМИ это может способствовать проникновению на потребительский рынок Республики Бурятия некачественной и потенциально опасной продукции, и в последующем привести к ухудшению эпидемиологической ситуации.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках бюджетной НИР.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Шарафетдинов Х.Х. Здоровое питание – основа здорового образа жизни и профилактики хронических неинфекционных заболеваний // *Здоровье молодежи: новые вызовы и перспективы*. – М.: Научная книга, 2019. – С. 203–227.
2. Современные вопросы оценки и управления риском для здоровья // А.Ю. Попова, В.Б. Гурвич, С.В. Кузьмин, А.Л. Мишина, С.В. Ярушин // *Гигиена и санитария*. – 2017. – Т. 96, № 12. – С. 1125–1129.
3. Bertolatti D., Theobald C. Food safety and risk analysis // *Encyclopedia of Environmental Health*. – 2019. – P. 57–67. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.11821-4
4. Гигиеническая характеристика фактического питания трудоспособного населения Самарской области / О.В. Сазонова, Д.О. Горбачев, М.С. Нурдина, В.И. Купаев, Л.М. Бородин, М.Ю. Гаврюшин, О.В. Фролова // *Вопросы питания*. – 2018. – Т. 87, № 4. – С. 32–38.
5. Белова Л.В., Пилькова Т.Ю., Федотова И.М. Обеспечение качества и безопасности пищевых продуктов в настоящий период // *Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения*. – 2018. – № 2. – С. 754–759.
6. Литвинова О.С. Структура питания населения Российской Федерации. Гигиеническая оценка // *Здоровье населения и среда обитания*. – 2016. – Т. 278, № 5. – С. 11–14.
7. Баглушкина С.Ю., Ефимова Н.В., Тармаева И.Ю. Структура питания взрослого населения и риск заболеваемости, связанный с нарушением питания // *Здоровье населения и среда обитания*. – 2015. – Т. 267, № 6. – С. 23–25.
8. Mozaffarian D. Dietary and Policy Priorities for Cardiovascular Disease, Diabetes, and Obesity: A Comprehensive Review // *Circulation*. – 2016. – Vol. 2, № 133. – P. 187–225. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.018585
9. К вопросу установления допустимых суточных доз химических веществ в пищевых продуктах по критериям риска здоровью / П.З. Шур, Н.В. Зайцева, С.А. Хотимченко, Е.В. Федоренко, С.И. Сычик, В.А. Фокин, Д.В. Суворов, С.Е. Зеленкин // *Гигиена и санитария*. – 2019. – Т. 98, № 2. – С. 189–195.
10. Серафимович А.Е., Просеков А.Ю. Продовольственная безопасность: международно-правовые аспекты и российская правоприменительная практика // *Право. Журнал Высшей школы экономики*. – 2018. – № 4. – С. 235–253.
11. ВОЗ. Информационный бюллетень. Август 2019. Безопасность продуктов питания. Основные факты [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/voz-informatsionny-byulleten-avgust-2019-bezopasnost-produktov-pitaniya> (дата обращения: 30.09.2020).
12. Similarity matching of food safety incidents in China: Aspects of rapid emergency response and food safety / Y.-H. Song, H.-Q. Yu, Y.-C. Tan, W. Lv, D.-H. Fang, D. Liu // *Food Control*. – 2020. – № 115. – P. 107275. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107275
13. Позняковский В.М. Эволюция питания и формирование нутриома современного человека // *Food industry*. – 2017. – Т. 4, № 3. – С. 5–12.
14. Зайцева Н.В., Устинова О.Ю., Сбоев А.С. Медико-профилактические технологии управления риском нарушений здоровья, ассоциированных с воздействием факторов среды обитания // *Гигиена и санитария*. – 2016. – Т. 95, № 1. – С. 17–22.
15. Андреева Е.Е. Применение риск-ориентированной модели для перераспределения кадровых ресурсов Управления Роспотребнадзора по городу Москве // *Гигиена и санитария*. – 2018. – Т. 97, № 5. – С. 441–444.
16. Кислицына Л.В. Оценка потенциального риска причинения вреда здоровью вследствие употребления населением пищевых продуктов по Приморскому краю // *Здоровье. Медицинская экология. Наука*. – 2016. – Т. 66, № 3. – С. 188–192.
17. Заболеваемость злокачественными новообразованиями прямой кишки, ректосигмоидного соединения и ободочной кишки и гигиеническая оценка канцерогенных химических веществ, поступающих пероральным путем /

В.М. Боев, Е.Л. Борщук, Д.А. Кряжев, Е.К. Савина // Здоровье населения и среда обитания. – 2017. – Т. 291, № 6. – С. 13–17.

18. Региональные особенности питания населения и риск для здоровья, связанный с химической контаминацией пищевых продуктов / О.В. Клепиков, Р.О. Хатуяев, А.В. Истомин, Л.А. Румянцева // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 11. – С. 1086–1091.

19. Роль пищевых продуктов в достижении оптимального здоровья / Г.М. Мухутдинова, И.Р. Мухаметшин, М.А. Пяташина, Л.Г. Авдонина, Т.М. Рыбаченок, С.Ю. Филиппова, А.А. Имамов // Sciences of Europe. – 2018. – Т. 28, № 1. – С. 19–24.

20. Ранжирование территорий республики Башкортостан по уровню контаминации пищевых продуктов / Р.А. Даукаев, Т.К. Ларионова, Г.Р. Аллаярова, Г.Ф. Адиева, С.Р. Афонькина, А.С. Фазлыева, Э.Н. Усманова, М.В. Курилов // Здоровье населения и среда обитания. – 2019. – Т. 310, № 1. – С. 24–27.

21. Multivitamin/multimineral supplement use is associated with increased micronutrient intakes and biomarkers and decreased prevalence of inadequacies and deficiencies in middle-aged and older adults in the United States / T.C. Wallace, C.L. Frankenfeld, B. Frei, A.V. Shah, C.R. Yu, B.J. Van Klinken, M. Adeleke // J. Nutr. Gerontol. Geriatr. – 2019. – Vol. 4, № 38. – P. 307–328. DOI: 10.1080/21551197.2019.1656135

22. Vitamin B6 deficiency is prevalent in primary and secondary myelofibrosis patients / H. Yasuda, M. Tsutsui, J. Ando, T. Inano, M. Noguchi, Y. Yahata, M. Tanaka [et al.] // Int J. Hematol. – 2019. – Vol. 5, № 110. – P. 543–549. DOI: 10.1007 / s12185-019-02717-8

23. Особенности фактического питания взрослого населения Республики Бурятия в современных условиях / И.Ю. Тармаева, Н.В. Ефимова, С.С. Ханхареев, О.Г. Богданова // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87, № 3. – С. 30–35.

24. A Comparison of the nutritional qualities of supermarket's own and regular brands of bread in Sweden / V.M. Lappi, A. Mottas, J. Sundstrom, B. Neal, M. Lof, K. Radholm // Nutrients. – 2020. – Vol. 2, № 4. – P. 1162. DOI: 10.3390/nu12041162

25. Breeding crops for enhanced food safety / M. Melotto, M.T. Brandl, C. Jacob, M.T. Jay-Russell, S.A. Micallef, M.L. Warburton, A. Van Deynze // Frontiers in plant science. – 2020. – № 11. – P. 428. DOI: 10.3389/fpls.2020.00428

26. *Listeria monocytogenes* in poultry: Detection and strain characterization along an integrated production chain in Italy / L. Iannetti, M. Schirone, D. Neri, P. Visciano, V.A. Acciari, G. Centorotola, M.S. Mangieri [et al.] // Food microbiology. – 2020. – № 91. – P. 103533. DOI: 10.1016/j.fm.2020.103533

27. Heavy metals and PAHs in meat, milk, and seafood from augusta area (southern Italy): contamination levels, dietary intake, and human exposure assessment / C. Di Bella, A. Traina, C. Giosue, D. Carpintieri, G.M. Lo Dico, A. Bellante, M. Del Core [et al.] // Frontiers in public health. – 2020. – № 8. – P. 273. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00273

28. Ultra-processed food intake and risk of cardiovascular disease: prospective cohort study (NutriNet-Sante) / B. Srour, L.K. Fezeu, E. Kesse-Guyot, B. Alles, C. Mejean, R.M. Andrianasolo, E. Chazelas [et al.] // BMJ. – 2019. – Vol. 29, № 365. – P. 11451. DOI: 10.1136/bmj.11451

29. Deposition of mercury in forests across a montane elevation gradient: Elevational and seasonal patterns in methylmercury inputs and production / J.R. Gerson, C.T. Driscoll, J.D. Demers, A.K. Sauer, B.D. Blackwell, M.R. Montesdeoca, J.B. Shanley, D.S. Ross // Journal of geophysical research-biogeosciences. – 2017. – Vol. 8, № 122. – P. 1922–1939. DOI: 10.1002/2016JG003721

30. The concentration and health risk assessment of trace elements in commercial soft drinks from Iran marketed / N. Shariatifar, F. Seilani, B. Jannat, S. Nazmara, M. Arabameri // International journal of environmental analytical chemistry. – 2020. – P. 16.

31. Metabolomic profiling of food matrices: Preliminary identification of potential markers of microbial contamination / F. Carraturo, G. Libralato, R. Esposito, E. Galdiero, F. Aliberti, A. Amoresano, C. Fontanarosa, M. Trifuoggi, M. Guida // Journal of food science. – 2020. – Vol. 10, № 85. – P. 3467–3477. DOI: 10.1111/1750-3841.15418

32. Salmonellosis: the role of poultry meat / P. Antunes, J. Mourao, J. Campos, L. Peixe // Clinical microbiology and infection. – 2016. – № 22. – P. 110–121. DOI: 10.1016/j.cmi.2015.12.004

33. Oscar T. Salmonella prevalence alone is not a good indicator of poultry food safety // Risk analysis. – 2020. – № 10. – P. 1111. DOI: 10.1111/risa.13563

34. The public health impact of different microbiological criteria approaches for *Salmonella* in chicken parts / E. Lamber-tinia, J.M. Ruzantea, R. Chewa, V.L. Apodacab, B.B. Kowalczyk // Microbial Risk Analysis. – 2019. – № 12. – P. 44–59. DOI: 10.1016/j.mran.2019.06.002

35. *Salmonella* levels in turkey neck skins, drumstick bones and spleens in relation to ground turkey / Y. Cui, H.S. Guran, M.A. Harrison, C.L. Hofacre, W.Q. Alali // Journal of food protection. – 2015. – Vol. 11, № 78. – P. 1945–1953. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-15-240

Оценка и классификация пищевой продукции по уровню риска для здоровья, связанного с химической и микробиологической контаминацией / О.Г. Богданова, О.А. Молчанова, И.Ю. Тармаева, Н.В. Ефимова // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 57–67. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.06

UDC 613.26–613.28

DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.06.eng

Read
online

Research article

ASSESSMENT AND CLASSIFICATION OF FOOD PRODUCTS AS PER HEALTH RISKS CAUSED BY CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CONTAMINATION

O.G. Bogdanova¹, O.A. Molchanova^{1,2}, I.Yu. Tarmaeva³, N.V. Efimova¹¹East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 12a the 3rd micro-district, Angarsk, 665827, Russian Federation²Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Buryatiya Region office, 45b Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, 670013, Russian Federation³Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 2/14 Ustinsky lane, Moscow, 109240, Russian Federation

Our research goal was to reveal priority food products (FP) distributed on a regional consumer market as per health risks they caused for population.

The research was accomplished with statistic, analytical, and mathematical procedures as well as using comparative analysis procedure.

We analyzed laboratory data on sanitary-chemical and physical-chemical parameters collected over 2010–2019; our analysis revealed there were insignificant risks excluding FP contamination with nitrates. Special attention should be paid to microbiological contamination as overall parameters related to it remain steady over the compared 5-year periods. We also have detected unfavorable trends as average parameters have grown authentically over the last 5 years against 2010–2014 when it comes to fruit and vegetables, poultry, fish products, and alcoholic beverages with growth rates varying from 3.53 times to 1.44 times.

Having accomplished all the necessary calculations, we established that in Buryatia, just as in the Russian Federation in general, there were no food products that could cause extremely high health risks. But at the same time, the examined regional market had certain differences from the overall Russian one. High health risks were caused by poultry and it was not the case in the country in general. Bakery, confectionary, and fish products that caused high health risks in the country as a whole caused only significant risks in the region. Milk products also were assigned into a high risk category. We performed complex assessment and classified FP as per their quality and safety using health risk analysis methodology; it allowed us to determine priorities resulted from microbiological contamination of poultry and this fact is vital for population health in Buryatia.

Key words: food products, chemical and microbiological contamination, quality and safety, health risk, classification, complex assessment, nutrition for population, regional peculiarities, Buryatia.

References

1. Tutel'yan V.A., Nikityuk D.B., Sharafetdinov Kh.Kh. Zdorovoe pitanie – osnova zdorovogo obraza zhizni i profilaktiki khronicheskikh neinfektsionnykh zabolevanii [Healthy nutrition as a basis for healthy lifestyle and prevention of chronic non-communicable diseases]. *Zdorov'e molodezhi: novye vyzovy i perspektivy*. Moscow, OOO IPTs Nauchnaya kniga Publ., 2019, pp. 203–227 (in Russian).
2. Popova A.Yu., Gurvich V.B., Kuz'min S.V., Mishina A.L., Yarushin S.V. Modern issues of the health risk assessment and management. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 12, pp. 1125–1129 (in Russian).

© Bogdanova O.G., Molchanova O.A., Tarmaeva I.Yu., Efimova N.V., 2021

Olga G. Bogdanova – Candidate of Medical Science, PhD, senior researcher at the Laboratory for Ecological and Hygienic Research (e-mail: olga.bogdanova2001@gmail.com; tel.: +7 (3955) 58-69-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2358-2280>).

Olga A. Molchanova – post-graduate student; Deputy Head of the Department for Supervision over Food Hygiene and Hygiene of Children and Adolescents (e-mail: olga_molchanova_1992@mail.ru; tel.: +7 (3955) 58-69-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5088-4794>).

Inna Yu. Tarmaeva – Doctor of Medical Science, Professor, Academic Secretary, Leading Researcher at the Laboratory for Age-related Nutrition Studies (e-mail: t38_69@mail.ru; tel.: +7 (495) 698-53-42; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7791-1222>).

Natalia V. Efimova – Doctor of Medical Science, Professor, Leading Researcher at the Laboratory for Ecological and Hygienic Research (e-mail: medecolab@inbox.ru; tel.: +7 (3955) 58-69-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7218-2147>).

3. Bertolatti D., Theobald C. Food safety and risk analysis. *Encyclopedia of Environmental Health*, 2019, pp. 57–67. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.11821-4
4. Sazonova O.V., Gorbachev D.O., Nurdina M.S., Kupaev V.I., Borodina L.M., Gavryushin M.Yu., Frolova O.V. Hygienic characteristics of actual nutrition of the working population Samara region. *Voprosy pitaniya*, 2018, vol. 87, no. 4, pp. 32–38 (in Russian).
5. Belova L.V., Pil'kova T.Yu., Fedotova I.M. Obespechenie kachestva i bezopasnosti pishchevykh produktov v nas-toyashchii period [Providing quality and safety of food products nowadays]. *Zdorov'e – osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ikh resheniya*, 2018, no. 2, pp. 754–759 (in Russian).
6. Litvinova O.S. Hygienic assessment of nutrition structure of population of the Russian Federation. *Zdorov'e nase-leniya i sreda obitaniya*, 2016, vol. 278, no. 5, pp. 11–14 (in Russian).
7. Baglushkina S.Yu., Efimova N.V., Tarmaeva I.Yu. The structure of the adult nutrition and risk of illness connected with infringement of nutrition. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2015, vol. 267, no. 6, pp. 23–25 (in Russian).
8. Mozaffarian D. Dietary and Policy Priorities for Cardiovascular Disease, Diabetes, and Obesity: A Comprehensive Review. *Circulation*, 2016, vol. 2, no. 133, pp. 187–225. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.018585
9. Shur P.Z., Zaitseva N.V., Khotimchenko S.A., Fedorenko E.V., Sychik S.I., Fokin V.A., Suvorov D.V., Zelenkin S.E. On the issue of establishing acceptable daily intake of chemical substances in food products according to health risk criteria. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 2, pp. 189–195 (in Russian).
10. Serafimovich A.E., Prosekov A.Yu. Food security: international legal aspects and Russian law enforcement practice. *Pravo. Zhurnal Vysshei shkoly ekonomiki*, 2018, no. 4, pp. 235–253 (in Russian).
11. WHO. News bulletin. August 2019. Food safety. Social aspects of public health. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/voz-informatsionny-byulleten-avgust-2019-bezopasnost-produktov-pitaniya> (30.09.2020).
12. Song Y.-H., Yu H.-Q., Tan Y.-C., Lv W., Fang D.-H., Liu D. Similarity matching of food safety incidents in China: Aspects of rapid emergency response and food safety. *Food Control*, 2020, no. 115, pp. 107275. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107275
13. Poznyakovskii V.M. Nutrition evolution and nutriom formation of the modern human. *Food industry*, 2017, vol. 4, no. 3, pp. 5–12 (in Russian).
14. Zaitseva N.V., Ustinova O.Yu., Sboev A.S. Medical and preventive technologies for risk management of health problems associated with exposure to environmental factors. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 1, pp. 17–22 (in Russian).
15. Andreeva E.E. Application of a risk-oriented model for the redistribution of staffing resources of the office of service for supervision of consumer rights protection and human welfare in the city of Moscow. *Gigiena i sanitariya*, 2018, vol. 97, no. 5, pp. 441–444 (in Russian).
16. Kislitsyna L.V. Assessment of the potential risk of harm to health due use community food for the Primorsky region of Russia. *Zdorov'e. Meditsinskaya ekologiya. Nauka*, 2016, vol. 66, no. 3, pp. 188–192 (in Russian).
17. Boev V.M., Borshchuk E.L., Kryazhev D.A., Savina E.K. Malignant tumors of the rectum, rectosigmoid connections and colon and hygienic evaluation of carcinogenic chemicals entering the oral route. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2017, vol. 291, no. 6, pp. 13–17 (in Russian).
18. Klepikov O.V., Khatuaev R.O., Istomin A.V., Rummyantseva L.A. Regional features of food standards and health risks associated with chemical contamination of food. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 11, pp. 1086–1091 (in Russian).
19. Mukhutdinova G.M., Mukhametshin I.R., Patyashina M.A., Avdonina L.G., Rybachenok T.M., Filippova S.Yu., Imamov A.A. The role of food to achieve optimal health. *Sciences of Europe*, 2018, vol. 28, no. 1, pp. 19–24 (in Russian).
20. Daukaev R.A., Larionova T.K., Allayarova G.R., Adieva G.F., Afon'kina S.R., Fazlyeva A.S., Usmanova E.N., Kurilov M.V. Territories ranking of Bashkortostan on the level of food products contamination. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2019, vol. 310, no. 1, pp. 24–27 (in Russian).
21. Wallace T.C., Frankenfeld C.L., Frei B., Shah A.V., Yu C.R., Van Klinken B.J., Adeleke M. Multivitamin/multi-mineral supplement use is associated with increased micronutrient intakes and biomarkers and decreased prevalence of inade-quacies and deficiencies in middle-aged and older adults in the United States. *J. Nutr. Gerontol. Geriatr.*, 2019, vol. 4, no. 38, pp. 307–328. DOI: 10.1080/21551197.2019.1656135
22. Yasuda H., Tsutsui M., Ando J., Inano T., Noguchi M., Yahata Y., Tanaka M. [et al.]. Vitamin B6 deficiency is prevalent in primary and secondary myelofibrosis patients. *Int. J. Hematol.*, 2019, vol. 5, no. 110, pp. 543–549. DOI: 10.1007/s12185-019-02717-8
23. Tarmaeva I.Yu., Efimova N.V., Khankhareev S.S., Bogdanova O.G. Features of actual nutrition of the adult popula-tion in republic of Buryatia in modern conditions. *Voprosy pitaniya*, 2018, vol. 87, no. 3, pp. 30–35 (in Russian).
24. Lappi V.M., Mottas A., Sundstrom J., Neal B., Lof M., Radholm K. A Comparison of the nutritional qualities of supermarket's own and regular brands of bread in Sweden. *Nutrients*, 2020, vol. 2, no. 4, pp. 1162. DOI: 10.3390/nu12041162
25. Melotto M., Brandl M.T., Jacob C., Jay-Russell M.T., Micallef S.A., Warburton M.L., Van Deynze A. Breeding crops for enhanced food safety. *Frontiers in plant science*, 2020, no. 11, pp. 428. DOI: 10.3389/fpls.2020.00428
26. Iannetti L., Schirone M., Neri D., Visciano P., Acciari V.A., Centorotola G., Mangieri M.S. [et al.]. *Listeria monocy-togenes* in poultry: Detection and strain characterization along an integrated production chain in Italy. *Food microbiology*, 2020, no. 91, pp. 103533. DOI: 10.1016/j.fm.2020.103533
27. Di Bella C., Traina A., Giosue C., Carpintieri D., Lo Dico G.M., Bellante A., Del Core M. [et al.]. Heavy metals and PAHs in meat, milk, and seafood from augusta area (southern Italy): contamination levels, dietary intake, and human exposure assessment. *Frontiers in public health*, 2020, no. 8, pp. 273. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00273

28. Srour B., Fezeu L.K., Kesse-Guyot E., Alles B., Mejean C., Andrianasolo R.M., Chazelas E. [et al.]. Ultra-processed food intake and risk of cardiovascular disease: prospective cohort study (NutriNet-Sante). *BMJ*, 2019, vol. 29, no. 365, pp. 11451. DOI: 10.1136/bmj.11451
29. Gerson J.R., Driscoll C.T., Demers J.D., Sauer A.K., Blackwell B.D., Montesdeoca M.R., Shanley J.B., Ross D.S. Deposition of mercury in forests across a montane elevation gradient: Elevational and seasonal patterns in methyl-mercury inputs and production. *Journal of geophysical research-biogeosciences*, 2017, vol. 8, no. 122, pp. 1922–1939. DOI: 10.1002/2016JG003721
30. Shariatifar N., Seilani F., Jannat B., Nazmara S., Arabameri M. The concentration and health risk assessment of trace elements in commercial soft drinks from Iran marketed. *International journal of environmental analytical chemistry*, 2020, 16 p.
31. Carraturo F., Libralato G., Esposito R., Galdiero E., Aliberti F., Amoresano A., Fontanarosa C., Trifuoggi M., Guida M. Metabolomic profiling of food matrices: Preliminary identification of potential markers of microbial contamination. *Journal of food science*, 2020, vol. 10, no. 85, pp. 3467–3477. DOI: 10.1111/1750-3841.15418
32. Antunes P., Mourao J., Campos J., Peixe L. Salmonellosis: the role of poultry meat. *Clinical microbiology and infection*, 2016, no. 22, pp. 110–121. DOI: 10.1016/j.cmi.2015.12.004
33. Oscar T. Salmonella prevalence alone is not a good indicator of poultry food safety. *Risk analysis*, 2020, no. 10, pp. 1111. DOI: 10.1111/risa.13563
34. Lambertini E., Ruzante J.M., Chew R., Apodaca V.L., Kowalczyk B.B. The public health impact of different microbiological criteria approaches for Salmonella in chicken parts. *Microbial Risk Analysis*, 2019, no. 12, pp. 44–59. DOI: 10.1016/j.mran.2019.06.002
35. Cui Y., Guran H.S., Harrison M.A., Hofacre C.L., Alali W.Q. *Salmonella* levels in turkey neck skins, drumstick bones and spleens in relation to ground turkey. *Journal of food protection*, 2015, vol. 11, no. 78, pp. 1945–1953. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-15-240

Bogdanova O.G., Molchanova O.A., Tarmaeva I.Yu., Efimova N.V. Assessment and classification of food products as per health risks caused by chemical and microbiological contamination. Health Risk Analysis, 2021, no. 1, pp. 57–67. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.06.eng

Получена: 22.10.2020

Принята: 07.02.2021

Опубликована: 30.03.2021



Научная статья

КОНЦЕНТРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОВОЩАХ С ИРРИГАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ СТОЧНЫЕ ВОДЫ, И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ РИСК ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ

А. Фесеха^{1,2}, А.К. Чаубей¹, А. Абраха³¹Колледж естественных и информационных наук, Университет Аддис-Абебы, Эфиопия, Аддис-Абеба²Колледж естественных и информационных наук, Университет Арба Минч, Эфиопия, Арба Минч³Колледж естественных и информационных наук, Университет Самара, Эфиопия, Самара

Содержится оценка концентраций тяжелых металлов в воде, почве и овощах (лиственная свекла, латук, капуста, листовая капуста, помидоры, зеленый перец и морковь), выращиваемых на полях с системой ирригации, в которой используются сточные воды в провинции Гамо, Эфиопия. Образцы почв, воды и овощей были отобраны случайным образом, обработаны и проанализированы на предмет наличия в них тяжелых металлов с помощью атомной абсорбционной спектрометрии.

Полученные результаты показали, что в наиболее высоких средних концентрациях в пробах содержались Cd, Cr и Ni, а Pb, Zn и Cu – в самых низких. Уровни Cd в бассейнах реки Кульфо и озера Чамо, а также уровни Cu в большинстве проб почв также оказались выше референтных значений.

Исследование выявило, что средние уровни Cd в большинстве проб овощей, а также Cr и Pb в некоторых пробах овощей были выше, чем максимально рекомендованные уровни, установленные Всемирной организацией здравоохранения, Продовольственной и сельскохозяйственной организацией в 2001 г. Среди овощей самое высокое содержание тяжелых металлов было обнаружено в капусте, листовой свекле, моркови, помидорах, листовой капусте, зеленом перце и латуке. Коэффициент риска здоровью по содержаниям Cd, Cu и Ni, полученный для всех проб овощей, превышал единицу. Это означает, что существует потенциальный риск здоровью потребителей. Таким образом, рекомендуется регулярный мониторинг содержания тяжелых металлов в почвах, воде и продуктах питания с целью предотвращения их чрезмерного накопления в пищевой цепочке.

Ключевые слова: тяжелые металлы, загрязнение, овощи, коэффициент опасности, оценка риска, безопасность, здоровье человека.

Овощи являются эссенциальным источником широкого спектра жизненно необходимых микроэлементов [1]. В ряде исследований утверждается, что потребление овощей может предотвратить некоторые хронические неинфекционные заболевания, такие как сердечно-сосудистые заболевания, заболевания почек, заболевания нервной и костной системы. Овощи также вносят существенный вклад в обогащение организма белками, минералами, витаминами, волокнами и другими питательными веществами, которых обычно не хватает в повседневных рационах [2, 3]. Недавние тенденции указывают на все большее осознание людьми питательной ценности овощей, вплоть до полного отказа от мяса в их пользу [4]. Установлено, что у овощей есть опреде-

ленные целебные свойства благодаря антиоксидантным и противомикробным эффектам, которые они производят. Также многие овощи обладают антидиабетическим, противовоспалительным и антигипертензивным потенциалом [5, 6].

Вместе с тем качество и безопасность сельскохозяйственных продуктов во многом зависят от условий произрастания, особенно если есть угроза присутствия в окружающей среде токсичных веществ, в том числе соединений тяжелых металлов. Загрязнение данными примесями природных объектов вследствие антропогенной деятельности является серьезной мировой проблемой [7–9]. Источниками являются домохозяйства, промышленные и сельскохозяйственные объекты, горение лесов, сжигание органического топлива и т.п.

© Фесеха А., Чаубей А.К., Абраха А., 2021

Фесеха Абрахам – аспирант кафедры физических наук (e-mail: abraham.feseha@aau.edu.et; тел.: +251-111-239768; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5507-6588>).

Чаубей Ашок Кумар – академик, доктор физических наук, профессор Addis (e-mail: chaubeyak@aau.edu.et; тел.: +251-111-239768; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0536-0852>).

Абраха Атаклти – академик, доктор физических наук, доцент (e-mail: atkl.physics@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8407-2113>).

Загрязнение воды тяжелыми металлами на некоторых территориях является практически неизбежным в силу естественных причин (скальная эрозия) и антропогенной деятельности (промышленность, сельское хозяйство, домашние хозяйства). Сточные воды добывающей, электрической, крупной промышленности и химических лабораторий часто содержат высокие концентрации тяжелых металлов, включая кадмий (Cd), медь (Cu) и свинец (Pb). Загрязнение сельскохозяйственных почв тяжелыми металлами вследствие ирригации со сточными водами вызывает серьезную тревогу, так как это может негативно отразиться на здоровье населения. Исследование, проведенное Mensah в Гане, посвященное использованию воды в системе ирригации для выращивания капусты, моркови и латука, с присутствием кадмия и свинца, выявило, что концентрации кадмия и свинца в овощах существенно возросли с ростом их концентрации в ирригационной воде. Обычной практикой во многих развивающихся странах является выращивание овощей вдоль берегов рек, протекающих через городские территории. Часто сообщается о загрязнении воды в таких реках тяжелыми металлами. Степень абсорбции металлов из воды растениями зависит в том числе от природы растения и химической структуры загрязнителя, концентрации элемента в почве, pH и взаимодействия с другими металлами. Загрязнение воды тяжелыми металлами в основном происходит вследствие сбросов отходов добывающей промышленности, а также широкого спектра других отраслей.

Тяжелые металлы в почве содержатся в различных химических формах, что связано с их растворимостью, которая напрямую зависит от их мобильности и биологической доступности. Тяжелые металлы в растворимой форме с легкостью проникают в растения. Наиболее высокие концентрации металлов в почве были обнаружены для цинка (113 мг/кг), хрома (47,8 мг/кг), свинца (17,7 мг/кг) и кадмия (0,250 мг/кг) на сельскохозяйственных территориях Зивей, Бурау и Аддис Абеба. Наиболее высокая концентрация металлов была обнаружена в почвах поблизости от Аддис Абеба по сравнению с провинцией Зивей. Это говорит о том, что сельскохозяйственная продукция выращивается на территориях, где повышенная концентрация металлов в почве возникает вследствие естественных причин.

Некоторые тяжелые металлы, такие как железо, цинк, медь и селен, являются необходимыми для человека, особенно в малых количествах. Однако тяжелые металлы не разлагаются в биологических средах и накапливаются в них до токсичных уровней, оказывая вредное воздействие на животных, растения и людей, когда их содержание превышает определенный пороговый уровень [9]. Другие тяжелые металлы, такие как свинец, мышьяк, кадмий, и ртуть, являются токсичными даже в малых дозах, и их экспозиция приводит к возникновению проблем со здоровьем.

Организм человека легко может подвергнуться загрязнению такими тяжелыми металлами, как ни-

кель, кадмий, хром, свинец и медь вследствие экспозиции через продукты питания или загрязненную внешнюю среду. По причине того, что фрукты и овощи могут поглощать тяжелые металлы из почвы, содержание минералов и металлов в одних и тех же плодовоовощных культурах может очень сильно различаться в зависимости от почвы и региона, где они выращиваются. Увеличенная концентрация тяжелых металлов ассоциирована с этиологией нескольких заболеваний, особенно сердечно-сосудистых, неврологических и заболеваний почек.

Кадмий не является эссенциальным элементом, присутствует в продуктах питания и естественных водоемах, а накапливается преимущественно в почках и печени. Кадмий вызывает острое и хроническое отравление, оказывает вредное воздействие на почки, печень, сосудистую и иммунную системы. Последнее время большое внимание уделяется присутствию этого металла в воде, почве, молоке, продуктах питания и лекарственных растениях и травах. Наиболее часто источниками кадмия в почве и растениях являются фосфатные удобрения, плавильные печи на предприятиях цветной металлургии, шахты по добыче свинца и цинка, отходы промышленных предприятий и сжигание органического топлива.

Свинец является серьезным кумулятивным ядом, который проникает в организм с воздухом, водой и продуктами питания, и не может быть удален из фруктов и овощей посредством мойки.

Медь является эссенциальным микроэлементом, который в надлежащем количестве необходим для здоровья. Высокие концентрации данного металла в овощах могут быть опасны для здоровья, равно как и обратная ситуация с недостаточным их потреблением, что может привести к задержке роста, заболеваниям кожи и пищеварительным расстройствам.

Цинк является эссенциальным элементом и важным компонентом в составе многих коферментов; он необходим для синтеза ДНК, РНК, белков и инсулина, но в высоких концентрациях может быть токсичным.

Анализ и прогноз последствий загрязнения требует идентификации и оценки числа источников риска, определения количества факторов которые вступают в контакт с организмом на границе «организм – внешняя среда»; оценки уровня экспозиции с учетом путей поступления веществ и количественного определения риска для здоровья, вызванного данной экспозицией. Однако тот факт, что уровни содержания загрязняющих веществ превышают допустимые, установленные такими регулирующими организациями, как Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), не всегда означает, что существует реальный риск для здоровья. По этой причине метод определения целевого коэффициента риска (ЦКР), предложенный Агентством по охране окружающей среды США (US EPA, АООС США) для оценки потенциальных рисков здоровью, связанных с длительной экспозицией тяжелыми металлами, использовался для оценки рисков здоровью и в данном исследовании [9].

ЦКР, равный единице или превышающий ее ($1 \geq$), означает, что существует риск здоровью экспонированного населения.

В настоящее время в провинции Гамо Арба Минч, Эфиопия, не существует законодательно установленных критериев безопасного содержания тяжелых металлов в ирригационных водах, почвах и овощах. Однако вследствие развития экономической, промышленной и других видов деятельности содержание тяжелых металлов растет в ирригационных водах, сельскохозяйственных почвах, овощах и прочих культурах, выращиваемых за пределами города. Фермерские земли и участки вдоль реки интенсивно используются для выращивания зерновых культур и овощей, но данных по содержанию тяжелых металлов в ирригационных водах, почвах и овощах по-прежнему крайне мало. Поэтому целью данного исследования было количественное определение концентраций различных металлов в почвах и повсеместно выращиваемых овощах, орошаемых с помощью систем ирригации, содержащих сточные воды, с целью последующего расчета дневного потребления металлов, поступающих в организм с определенным количеством потребленных овощей. Это позволило оценить риск для здоровья, вызванный экспозицией тяжелыми металлами вследствие потребления овощей, выращенных на четырех ирригационных участках в провинции Гамо, Эфиопия. Эти данные крайне важны для дальнейшего изучения накопления тяжелых металлов в продуктах питания, что приведет к повышению их безопасности и более эффективной охране здоровья людей, проживающих на данной территории.

Материалы и методы. В качестве территории исследования был выбран район расположения г. Арба Минч, который находится на $6^{\circ}2'N$ $37^{\circ}33'E$ и является одним из городов провинции Гамо, Зона Гуфо, Регион южных национальностей и народов (SNNPR), Эфиопия. Он находится на расстоянии примерно 500 км от столицы Эфиопии Аддис-Абебы. Его нынешнее название Арба Минч в переводе обозначает «40 источников», так как на его территории расположены 40 природных источников, являющихся основной туристической достопримечательностью (рисунок). Река Кульфо, озеро Абайя и озеро Чамо – основные источники воды для данной территории и используются для земледелия, коммунальных нужд и т.д. Река и озера берут свой исток с высокогорных местностей региона Гамо, в котором бурно развивается сельское хозяйство. Фокус данного исследования сосредоточен на изучении территории, где проживающее население использует водные ресурсы для ирригации.

Экспозиция населения хромом может возникнуть вследствие вдыхания, потребления с питьевой водой и даже контакта через кожу. Экспозиция повышенными концентрациями хрома приводит к раздражению кожи, образованию язв, повреждениям сосудистых и нервных тканей, что вызывает проблемы со здоровьем. Однако дневное потребление данного металла в определенном диапазоне концен-

траций (до 200 мкг/сут) считается необходимым для человека и животных, так как оно поддерживает углеводный и липидный обмен.

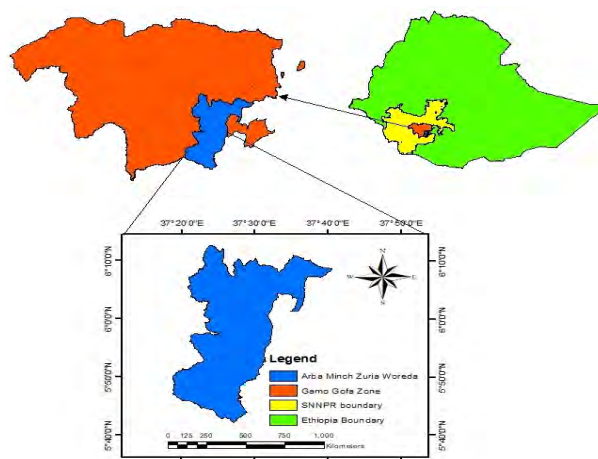


Рис. 1. Карта района Arba Minch Zuriya

Пробы почвы, воды и обычных потребляемых порций семи популярных овощей – листовой свеклы, латука, капусты, листовой капусты, помидоров, зеленого перца и моркови были отобраны на ирригационных полях в провинции Гамо, Эфиопия. Все пробы отбирались на полях случайным образом. Пробы почв отбирались на полях на глубине 15 см. Отобранные пробы почв и овощей собирались в чистые полиэтиленовые пакеты и соответственно помечались, в то время как пробы воды собирались в тщательно вымытые и высушенные емкости. После отбора все пробы доставлялись в химическую лабораторию Университета Арба Минч для подготовки и последующего анализа с помощью атомной абсорбционной спектроскопии.

15 мл пробы воды помещались в тefлоновые пробирки, к ним затем добавляли 5 мл HNO_3 и 1 мл H_2O_2 . Пробирки плотно закрывались и помещались на поворотный механизм, закрытый защитным экраном и установленный в микроволновой камере. Смесь нагревали при $120^{\circ}C$ в течение 3 ч в микроволновом автоклаве. После завершения процесса расщепления чистый бесцветный раствор фильтровали через фильтровальную бумагу Whatman № 42 и разбавляли деионизированной водой до увеличения объема раствора до 50 мл [10]. Затем раствор разливали в пластиковые емкости и хранили до начала анализа.

Пробу почвы в количестве 500 г помещали в полиэтиленовый пакет, сушили в микроволновой печи, а затем размалывали в мелкий порошок, который проходил через сито с отверстиями 2 мм. 1 г образца почвы растворяли в смеси трех кислот ($65 HNO_3:70 HClO_4:30 H_2O_2$) в пропорциях 6:4:1 соответственно. Раствор нагревали до $200^{\circ}C$ в течение 3 ч до тех пор, пока из него не переставали уходить коричневые пары. После этого раствор фильтровали через фильтровальную бумагу Whatman № 42 и разбавляли деионизированной водой до тех

пор, пока объем не достигал 50 мл [10]. Приготовленные пробы были проанализированы с помощью атомной абсорбционной спектрометрии (модель АА 400Р, Германия) с целью определения концентраций тяжелых металлов.

Образцы овощей измельчались, а затем высушивались в сухой печи при температуре 105 °С в течение 24 ч (модель печи Memmert UF 260 плюс 230V Sunon) для удаления влаги. Сухие образцы затем перемалывались в порошок и просеивались через сито с отверстиями 1 мм. 0,5 г пробы помещали в эталонные пробирки, добавляли 6 мл 65%-ной HNO₃, 3 мл 70%-ной HClO₄ и 1 мл 30%-ной H₂O₂, а затем помещали на поворотный механизм в микроволновой камере. Смесь нагревали при 80 °С в течение 3 ч в микроволновом автоклаве. После завершения процесса расщепления чистый бесцветный раствор фильтровали через фильтровальную бумагу Whatman № 42 и разбавляли деионизированной водой до увеличения объема раствора до 50 мл [10]. Готовые пробы хранили в пластиковых емкостях до момента анализа. Данные по образцам почв, овощей и воды, отобранных на четырех исследованных территориях, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Образцы овощей, почв и воды, отобранные на четырех территориях в Эфиопии*

Образец		Территория ирригационного земледелия			
		KRA	ATSHCA	ALA	CHLA
Овощи	Листовая капуста	✓	✓	✓	✓
	Латук	✓	✓	✓	✓
	Капуста	✓	✓	✓	✓
	Листовая свекла	✓	✓	✓	✓
	Помидоры	✓	✓	✓	✓
	Зеленый перец	✓	✓	✓	✓
	Морковь	✓	✓	✓	✓
Почва		✓	✓	✓	✓
Ирригационная вода		✓	✓	✓	✓

Примечание: *KRA – бассейн реки Кульфо; ATSHCA – территория около текстильной компании Арба Минч, ALA – бассейн озера Абайя, CHLA – бассейн озера Чамо. Отметка (✓) означает, что на данной территории произошел отбор проб.

Подготовленные образцы были проанализированы с целью определения содержащихся в них концентраций тяжелых металлов методом атомно-абсорбционной спектрометрии с плазменной атомизацией, с использованием микроволновой камеры и печи сухого нагрева (ПААС (плазменная атомно-абсорбционная спектрометрия), модель АА 400Р, Германия). Вспомогательное оборудование – стандартизованное. Для приготовления всех растворов использовались аналитические химические калибровочные реагенты и деионизированная вода. Гра-

фические калибровочные стандартные растворы для всех определений были приготовлены путем последовательного разбавления стандартных растворов на 1000 миллионных долей.

Метод выбран в силу того, что имеются данные об его успешном применении для определения тяжелых металлов в различных матрицах [11]. Режим работы установки для определения тяжелых металлов с помощью ПААС описан в табл. 2. Для обеспечения качества данных, получаемых в процессе эксперимента, каждый образец анализировали трижды.

Таблица 2

Рабочий режим установки для определения тяжелых металлов в образцах воды, почвы и овощей посредством ПААС [12, 13]

Элемент	Длина волны, нм	Ток лампы, мА	Ширина прорези, нм	Тип пламени
Кадмий	228,8	2,0	1,2	Воздух – ацетилен
Хром	357,9	6,0	0,7	Воздух – ацетилен
Свинец	283,3	5,0	0,7	Воздух – ацетилен
Цинк	213,9	5,0	0,7	Воздух – ацетилен
Медь	324,7	4,0	0,5	Воздух – ацетилен
Никель	232,0	7,0	0,6	Воздух – ацетилен

Валидация метода подтверждалась согласно протоколам Международной организации по гармонизации [14]. Во всех экспериментальных процедурах исследования использовались аналитические реагенты производства компании Merck (Германия).

Оценивали перенос металлов из загрязненной почвы в съедобные части овощей через фактор аккумуляции (AF) по формуле (1) [15–17].

$$AF = \frac{C_{vegetables}}{C_{soil}}, \quad (1)$$

где $C_{vegetables}$ – концентрация металла в овощах (мг/кг), а C_{soil} – концентрация металла в почве (мг/кг). Чем выше значение фактора переноса (TF), тем более доступны тяжелые металлы. Высокие уровни фактора переноса говорят об относительно слабом удержании металлов почвой или о значительной эффективности процесса абсорбции металлов овощами. Низкий уровень фактора переноса означает, что существует сильная связь между металлами и коллоидами почвы.

Мобильность металлов в процессе перемещения из почвы в растения является функцией от физических и химических свойств почвы и разновидностей овощей. Она изменяется под влиянием многочисленных антропогенных и внешнесредовых факторов. Различия в факторе переноса для разных типов овощей могут объясняться различными уровнями концентраций ме-

таллов в почве и различиями, связанными с потреблением элементов разными видами овощей.

Высокие значения фактора аккумуляции (AF) могут означать потенциальный риск для потребителей.

Оценку риска здоровью, связанную с употреблением овощей, выращиваемых на ирригационных участках исследуемых территорий, рассчитывали с учетом суточного потребления овощей, которое в свою очередь оценивали по результатам опросов 400 респондентов (табл. 3).

Таблица 3

Участники опроса, направленного на определение риска здоровью, вызванного потреблением овощей на изучаемых территориях

Участники	Возраст, лет		Общее количество опрошенных
	<16	>16	
Мужчины	95	135	230
Женщины	76	94	170
Итого			400

Средний вес тела для взрослого и ребенка принимался равным 60 и 25 кг соответственно.

Дневное поступление металлов вследствие употребления в пищу изучаемых овощей (листовая свекла, латук, капуста, листовая капуста, помидоры, зеленый перец и морковь) было рассчитано с помощью уравнения (2) [15–19].

$$DIR = \frac{C_{metals} \cdot D_{average\ vegetable\ intake}}{B_{average\ weight}}, \quad (2)$$

где C_{metals} – средняя концентрация элемента в овоще (мг/кг), а $D_{average}$ – средняя дневная норма потребления данного овоща (кг/день на человека), а $B_{average\ weight}$ – средняя масса тела (кг). По результатам исследования, среднее дневное потребление овощей для взрослых и детей составляло 0,346 и 0,233 кг/на человека в день соответственно. Данные о величинах рассчитанного дневного поступления приведены в табл. 4.

Уровень опасности для неканцерогенных загрязнителей оценивали с помощью коэффициента опасности (HQ) [20]. Коэффициент опасности, или оценка хронической угрозы, в данном исследовании был рассчитан с помощью уравнения (3) [15, 21, 22]. Если значение коэффициента опасности ниже единицы, то предполагается, что угрозы для потребителей нет, а если он равен единице или превышает данное значение, то подобный уровень считается небезопасным для здоровья населения [22, 23].

$$HQ = \frac{DIR}{RfD}, \quad (3)$$

где DIR означает дневное поступление, а RfD – референтная доза металлов. Значения RfD принимали: Cd – 0,001; Pb – 0,004; Cr – 1,5; Ni – 0,02; Zn – 0,3; Cu – 0,04 мг/кг в сутки. Данные были получены из интегрированной базы данных по рискам здоровью [22, 24, 25].

Индекс опасности (HI) рассматривали как показатель потенциального риска здоровью потребителей, возникающего вследствие экспозиции несколькими потенциально токсичными элементами [25]. Он рассчитывается как сумма коэффициентов опасности, рассчитанных для каждого элемента в каждом овоще по следующей формуле (4) [20, 25].

$$HI = \sum HQ. \quad (4)$$

Учитывали однонаправленное действие на критические органы и системы исследованных тяжелых металлов в соответствии с матрицей, приведенной в табл. 5.

Все данные, полученные в результате исследования, были статистически обработаны с расчетом средних величин. Средние значения для концентраций металлов в образцах воды, почвы и овощей сравнивались путем использования независимого t -критерия. Для базового дескриптивного статистического анализа данных применялась программа Statistics 8.1.

Результаты и их обсуждение. Результаты валидации свидетельствовали, что градуировочные кривые для разных диапазонов концентраций показывали хорошие коэффициенты корреляции в диапазоне от 0,9987 до 0,9999, что выше, чем требуемый уровень (0,995) для анализа микроэлементов [26, 27]. Это говорит о наличии тесной корреляции между концентрацией и поглощением, указывая на то, что аппаратное обеспечение было должным образом откалибровано (табл. 6).

Инструментальные пределы обнаружения (IDL) варьировались от 0,0005 до 0,01 мг/кг, что было ниже предела обнаружения (LOD); это указывает на высокую чувствительность измерительной аппаратуры. Предел обнаружения (LOD) находился в диапазоне от 0,075 до 0,372 мг/кг. Предел количественного обнаружения (LOQ) – в диапазоне 0,227–1,127 мг/кг. Значения как LOD, так и LOQ были выше IDL, следовательно, результаты анализа могут считаться надежными [28].

Таблица 4

Среднее дневное поступление каждого овоща, кг/день/чел.

Категория	Листовая капуста	Латук	Капуста	Листовая свекла	Помидоры	Зеленый перец	Морковь	Итого D_{ave}
Взрослые	0,227	0,163	0,246	0,293	0,231	0,108	0,187	1,455
Дети	0,113	0,098	0,169	0,157	0,128	0,078	0,103	0,846

Таблица 5

Данные ATSDR о влиянии тяжелых металлов на определенные органы и системы

Критические органы/системы	Zn	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb
Центральная нервная система						+
Сердечно-сосудистая система					+	
Пищеварительная система		+				+
Почки			+	+	+	
Кровь	+	+	+			
Развития					+	+
Репродуктивная						+
Гормональная						+

Результаты восстановления находились в приемлемом диапазоне 80–120, что нормально для анализа металлов [29]. Точность метода выражалась через относительное стандартное отклонение (RSD) трех исследований одного и того же образца. Полученные значения RSD варьировались от 2,110 до 8,543, что было ниже требуемого контрольного уровня ≤ 15 [30, 31]. Данные результаты подтверждали точность и аккуратность выбранной методики.

Средние концентрации тяжелых металлов, обнаруженные в образцах воды, почв и овощей, отобранных на четырех исследованных территориях, приведены в табл. 6–8.

Как видно из представленных в табл. 7 данных, средние концентрации хрома, свинца, цинка и никеля, полученные в образцах почвы, отобранных на всех ирригационных территориях, оказались ниже рекомендованных верхних пределов для почв, уста-

новленных ПСО (Пищевая и сельскохозяйственная организация) / ВОЗ, АОС США. Аналогичным образом обстоит дело с концентрациями кадмия в образцах почв, отобранных на территориях ATSHCA и ALA, и с концентрациями меди в образцах почв с территорий KRA и ATSHCA.

Содержание Cd в образцах из KRA и CHLA и Cu в образцах из ALA и CHLA было выше максимальных уровней, рекомендованных для почв ВОЗ и EPA [32–35].

В образцах сточных вод на всех изученных ирригационных территориях концентрации цинка, свинца и меди были ниже рекомендованных максимальных уровней, установленных для АОС США и ПСО/ВОЗ для ирригационной воды [36–40]. Вместе с тем фиксировали относительно высокие концентрации кадмия, хрома и никеля в ирригационных водах на всех изучаемых территориях. Максимальные рекомендованные уровни для данных веществ были превышены. Полученные результаты показывают, что образцы сточной воды значительно загрязнены тяжелыми металлами. Поэтому внимание должно концентрироваться на регулярном мониторинге и контроле сточных вод, используемых для ирригации.

Результаты количественного определения металлов в овощах представлены в табл. 8, 9. Установлено, что концентрации кадмия, обнаруженные в овощах, выращенных на изучаемых территориях, распределились следующим образом: концентрации в латуке варьировались от 0,18 мг/кг (латук, ALA) до 0,45 мг/кг (листовая свекла, KRA) [41, 42].

Таблица 6

Параметры валидации

Металл	IDL, мг/кг ^a	LOD, мг/кг	LOQ, мг/кг	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции R^2	Восстановление, % ^b	RSD, %
Cd	0,0005	0,153	0,465	$y = 0,1247x - 0,003$	0,9998	$101,294 \pm 3,398$	3,355
Cr	0,002	0,184	0,558	$y = 0,0112x + 0,002$	0,9997	$98,905 \pm 3,578$	3,618
Pd	0,01	0,372	1,127	$y = 0,0044x + 0,0009$	0,9987	$99,436 \pm 8,495$	8,543
Zn	0,0008	0,075	0,227	$y = 0,1429x + 0,0277$	0,9999	$99,265 \pm 2,095$	2,110
Cu	0,001	0,200	0,606	$y = 0,063x - 0,0013$	0,9996	$98,273 \pm 5,608$	5,706
Ni	0,002	0,211	0,638	$y = 0,0243x + 0,0019$	0,9996	$98,974 \pm 4,515$	4,562

Примечание: ^a – источник для ПААС; ^b – среднее \pm SD, $n = 7$, SD – стандартное отклонение; мг/кг – миллиграмм на кг; RSD – относительное стандартное отклонение.

Таблица 7

Средние концентрации тяжелых металлов в почвах и воде

Тяжелый металл	KRA		ATSHCA		ALA		CHLA		Максимально допустимые уровни	
	вода, мг/л	почва, мг/кг	вода, мг/л	почва, мг/кг	вода, мг/л	почва, мг/кг	вода, мг/л	почва, мг/кг	вода, мг/л ^a	почва, мг/кг ^b
Cd	0,2605	3,9096	0,185	1,8261	0,1634	1,7512	0,245	3,2113	0,01	3
Cr	0,8402	19,897	0,2567	13,0664	0,4738	16,2893	0,6701	8,2187	0,1	50
Pb	0,0094	13,8313	0,0038	10,4406	0,0024	12,5333	0,0056	11,7341	0,015 ^c	100
Zn	0,3488	52,2735	1,3954	42,5626	0,1461	53,0685	0,0770	68,5274	2	300
Cu	0,4643	48,8125	0,6743	40,8878	1,2759	57,1213	0,366	51,2222	2 ^d	50 ^c
Ni	0,8767	42,1764	0,5609	31,3822	0,3953	19,5129	0,6811	31,3866	0,07 ^d	80 ^c

Примечание: ^a – ВОЗ/ ПСО (2007); ^b – ВОЗ/ ПСО (2001); ^c – АОС США (2010); ^d – ВОЗ (2008); мг/кг – миллиграмм на кг; мг/л – миллиграмм на литр.

Таблица 8

Концентрации тяжелых металлов в образцах овощей, отобранных на четырех территориях в Эфиопии

Овощ	Тяжелые металлы, $\frac{\text{мг/кг}}{\text{число проб}}$						Тяжелые металлы, $\frac{\text{мг/кг}}{\text{число проб}}$					
	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu	Ni	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu	Ni
Территория	KRA						ATSHCA					
Листовая свекла	$\frac{0,4}{524}$	$\frac{1,4}{062}$	$\frac{0,4}{564}$	$\frac{27,2}{354}$	$\frac{11,2}{354}$	$\frac{13,8}{213}$	$\frac{0,3}{313}$	$\frac{1,1}{245}$	$\frac{0,1}{987}$	$\frac{23,4}{859}$	$\frac{9,5}{894}$	$\frac{9,4}{152}$
Латук	$\frac{0,2}{537}$	$\frac{1,8}{213}$	$\frac{0,3}{125}$	$\frac{22,4}{562}$	$\frac{16,4}{235}$	$\frac{17,7}{014}$	$\frac{0,1}{897}$	$\frac{1,4}{526}$	$\frac{0,1}{595}$	$\frac{18,5}{642}$	$\frac{13,8}{976}$	$\frac{15,8}{631}$
Капуста	$\frac{0,4}{185}$	$\frac{2,7}{801}$	$\frac{0,4}{562}$	$\frac{14,2}{563}$	$\frac{16,5}{426}$	$\frac{19,8}{916}$	$\frac{0,3}{281}$	$\frac{2,8}{456}$	$\frac{0,2}{895}$	$\frac{10,4}{586}$	$\frac{14,5}{642}$	$\frac{18,6}{542}$
Листовая капуста	$\frac{0,2}{304}$	$\frac{2,9}{945}$	$\frac{0,2}{901}$	$\frac{10,4}{568}$	$\frac{13,9}{648}$	$\frac{24,9}{745}$	$\frac{0,1}{887}$	$\frac{2,7}{589}$	$\frac{0,1}{693}$	$\frac{8,5}{642}$	$\frac{9,5}{689}$	$\frac{23,3}{456}$
Помидоры	$\frac{0,4}{324}$	$\frac{1,8}{452}$	$\frac{0,2}{812}$	$\frac{13,6}{548}$	$\frac{24,2}{345}$	$\frac{26,8}{945}$	$\frac{0,2}{791}$	$\frac{1,5}{243}$	$\frac{0,1}{623}$	$\frac{10,2}{365}$	$\frac{19,5}{642}$	$\frac{24,4}{538}$
Зел.перец	$\frac{0,2}{394}$	$\frac{1,9}{452}$	$\frac{0,2}{945}$	$\frac{9,9}{865}$	$\frac{21,4}{563}$	$\frac{21,8}{916}$	$\frac{0,1}{714}$	$\frac{1,5}{624}$	$\frac{0,1}{915}$	$\frac{5,4}{568}$	$\frac{16,5}{894}$	$\frac{20,6}{542}$
Морковь	$\frac{0,3}{515}$	$\frac{2,0}{145}$	$\frac{0,3}{912}$	$\frac{12,4}{568}$	$\frac{25,2}{345}$	$\frac{25,7}{865}$	$\frac{0,2}{988}$	$\frac{1,7}{451}$	$\frac{0,3}{056}$	$\frac{9,4}{758}$	$\frac{20,5}{642}$	$\frac{21,5}{917}$
ВОЗ/ПСО (2001), допустимый уровень	0,200	2,3	0,3	99,4	73,3	67	0,2	2,3	0,3	99,4	73,3	67
Территория	ALA						CHLA					
Листовая свекла	$\frac{0,3}{041}$	$\frac{1,2}{345}$	$\frac{0,2}{956}$	$\frac{28,3}{793}$	$\frac{11,5}{564}$	$\frac{5,3}{914}$	$\frac{0,4}{194}$	$\frac{1,0}{292}$	$\frac{0,3}{477}$	$\frac{31,4}{526}$	$\frac{9,9}{524}$	$\frac{11,3}{121}$
Латук	$\frac{0,1}{797}$	$\frac{1,5}{462}$	$\frac{0,1}{895}$	$\frac{24,3}{427}$	$\frac{18,5}{462}$	$\frac{9,8}{756}$	$\frac{0,2}{165}$	$\frac{1,6}{271}$	$\frac{0,3}{9}$	$\frac{27,4}{589}$	$\frac{17,4}{371}$	$\frac{16,8}{123}$
Капуста	$\frac{0,2}{973}$	$\frac{2,0}{461}$	$\frac{0,3}{125}$	$\frac{16,4}{24}$	$\frac{20,6}{542}$	$\frac{11,9}{517}$	$\frac{0,3}{685}$	$\frac{2,1}{686}$	$\frac{0,4}{218}$	$\frac{21,5}{643}$	$\frac{18,4}{682}$	$\frac{17,9}{453}$
Листовая капуста	$\frac{0,1}{91}$	$\frac{2,2}{451}$	$\frac{0,1}{885}$	$\frac{12,2}{014}$	$\frac{16,2}{457}$	$\frac{17,8}{501}$	$\frac{0,2}{155}$	$\frac{2,6}{527}$	$\frac{0,2}{189}$	$\frac{16,8}{956}$	$\frac{14,3}{566}$	$\frac{22,7}{254}$
Помидоры	$\frac{0,3}{152}$	$\frac{1,4}{452}$	$\frac{0,1}{812}$	$\frac{15,0}{882}$	$\frac{32,4}{568}$	$\frac{15,3}{968}$	$\frac{0,4}{57}$	$\frac{1,6}{977}$	$\frac{0,2}{101}$	$\frac{19,5}{641}$	$\frac{26,3}{741}$	$\frac{25,8}{745}$
Зел.перец	$\frac{0,1}{885}$	$\frac{1,7}{854}$	$\frac{0,2}{282}$	$\frac{10,6}{628}$	$\frac{29,5}{463}$	$\frac{16,7}{969}$	$\frac{0,2}{51}$	$\frac{1,6}{362}$	$\frac{0,2}{586}$	$\frac{14,5}{623}$	$\frac{23,1}{016}$	$\frac{19,9}{453}$
Морковь	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{1,6}{123}$	$\frac{0,3}{156}$	$\frac{14,5}{447}$	$\frac{31,4}{568}$	$\frac{15,8}{259}$	$\frac{0,3}{421}$	$\frac{1,9}{557}$	$\frac{0,3}{524}$	$\frac{17,5}{659}$	$\frac{26,0}{377}$	$\frac{23,6}{895}$
ВОЗ/ПСО (2001), допустимый уровень	0,2	2,3	0,3	99,4	73,3	67	0,2	2,3	0,3	99,4	73,3	67

Концентрации Cd не были значительно повышены в латук, зеленом перце и листовой капусте и не имели значительных различий между разными территориями [43–45]. Однако концентрации кадмия, обнаруженные в листовой свекле, капусте, помидорах и моркови на территориях KRA и CHLA, превышали допустимые уровни, установленные ПСО/ВОЗ.

Образцы, отобранные в KRA, содержали наиболее высокие концентрации кадмия, что может быть объяснено сбросом шлаков вместе со сточными водами с предприятий по производству цемента, металлообработки, каменоломен и текстильных производств. Все эти производства, как правило, сбрасывают свои отходы напрямую в реку [46, 47].

Наиболее высокие концентрации хрома были обнаружены в образцах листовой капусты (2,99 мг/кг) из KRA. Концентрации хрома в капусте и листовой свекле с территорий KRA и ATSHCA, и в листовой свекле с территории CHLA превышали предельные уровни данного металла в продуктах питания, установленных ПСО/ВОЗ. Среди всех исследованных проб овощей наибольшие количества хрома были обнаружены в

капусте и листовой свекле. Высокие концентрации данного тяжелого металла были обнаружены в овощах с территорий KRA, ATSHCA и CHLA, что может быть следствием сброса отходов предприятий металлообработки, производства цемента, текстильного производства, каменоломен, а также загрязнения, связанного с агрономической деятельностью [48].

Наиболее высокие концентрации свинца были обнаружены в листовой свекле (0,46 мг/кг) и капусте (0,46 мг/кг) с территории KRA, а самые низкие – в латук (0,16 мг/кг), собранном на территории ATSHCA. Концентрации свинца во всех пробах овощей, отобранных на всех изучаемых территориях, за исключением листовой свеклы и капусты, собранных на территории KRA, не превышали безопасные уровни, установленные ПСО/ВОЗ [49].

Наиболее высокие концентрации меди были обнаружены в помидорах (32,46 мг/кг), моркови (31,46 мг/кг) и зеленом перце (29,55 мг/кг) с территории ALA; самые низкие концентрации – в листовой капусте (9,57 мг/кг) с территории ATSHCA. Аналогично наиболее высокие концентрации никеля были обнару-

жены в помидорах (26,89 мг/кг) с территории KRA, а наиболее низкие – в листовой свекле (5,39 мг/кг) с территории ALA. Концентрации меди и никеля, выявленные во всех пробах овощей, отобранных на всех изучаемых территориях, не превышали безопасные значения, установленные ПСО/ВОЗ для данных металлов на уровне 73,3 и 67,0 мг/кг соответственно [50].

Данные, приведенные в табл. 7, показывают средние концентрации цинка во всех пробах овощей. Что касается цинка, на территории CHLA были обнаружены наиболее высокие концентрации данного элемента – 31,45 мг/кг – в листовой свекле, чуть ниже – 28,38 мг/кг – в листовой свекле на территории ALA. Наиболее низкие концентрации были обнаружены на территории ATSHCA – 5,46 мг/кг в зеленом перце [51]. Это говорит о том, что цинк содержится во всех пробах овощей, отобранных на всех территориях, в концентрациях, которые находятся в безопасных пределах, установленных ПСО/ВОЗ, а именно 99,40 мг/кг.

Полученные данные позволили оценить фактор переноса (TF) различных тяжелых металлов из почвы в овощи. Результаты представлены в табл. 10.

Наиболее высокий фактор переноса для листовой свеклы отмечен для цинка (0,52), никеля (0,32). При исследовании латука наиболее высокие значения фактора переноса были обнаружены для никеля (0,49) и цинка (0,43) [52]. При исследовании прочих видов овощей наиболее высокие уровни фактора переноса были зафиксированы для никеля (от 0,56 до 0,76) и меди (от 0,27 до 0,52). В целом значения фактора переноса TF для тяжелых металлов в изученных пробах овощей располагались в следующем порядке:

$$\text{Ni} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Cd} > \text{Pb}.$$

Наиболее высокие значения TF оказались равны 0,76 и 0,52 для никеля и цинка соответственно. Это может быть следствием высокой мобильности данных металлов с естественным нахождением в почвах, а также более слабым их удержанием в почвах по сравнению с другими токсичными элементами [53, 54].

Сопряжение данных о концентрациях металлов в овощах с данными о суточном потреблении каждого продукта позволило рассчитать суточные дозы поступления металлов в организм [55] (табл. 11).

Суточные дозы явились основой для определения коэффициентов опасности (табл. 12). Как видно из представленных данных, суточные дозы кадмия, меди и никеля как у взрослых, так и у детей превышали референтные дозы при пероральном поступлении (RfD), рекомендованные АООС США и ПСО/ВОЗ [24, 56]. Соответственно, индексы опасности (HQ) превышали безопасное значение 1,0.

Значения HQ были менее 1,0 для хрома, свинца и цинка для всех изученных овощей для детей и взрослых, т.е. риск характеризовался как незначительный.

Наиболее высокие уровни коэффициентов опасности были установлены для листовой свеклы, помидоров и моркови для взрослых и детей. Следовательно, употребление листовой свеклы, помидоров и моркови, выращиваемых на данных территориях, может вызывать серьезные риски здоровью.

Коэффициенты опасности рассматривали как базу для оценки индексов опасности формирования нарушений функций отдельных органов и систем в силу того, что токсичные элементы могут оказывать однонаправленное воздействие [57]. В данном исследовании выявлено (табл. 13), что наибольшие риски

Таблица 9

Средние концентрации тяжелых металлов (мг/кг) обнаруженные в овощах (все территории)

Тяжелые металлы	Листовая свекла	Латук	Капуста	Листовая капуста	Помидоры	Зеленый перец	Морковь	Референтное значение, мг/кг ^a
Cd	0,38	0,21	0,35	0,21	0,36	0,20	0,32	0,2
Cr	1,20	1,61	2,46	2,66	1,63	1,73	1,83	2,3
Pb	0,32	0,24	0,37	0,22	0,21	0,24	0,34	0,3
Zn	27,64	23,21	15,67	12,03	14,64	10,17	13,51	99,4
Cu	10,58	16,58	17,56	13,53	25,66	22,67	25,82	73,3
Ni	9,99	15,06	17,11	22,22	23,15	19,82	21,72	67

Примечание: ^a ПСО/ВОЗ – комиссия Codex Alimentarius (2001).

Таблица 10

Фактор переноса (TF) тяжелых металлов из почвы в растения

Металлы	Листовая свекла	Латук	Капуста	Листовая капуста	Помидоры	Зеленый перец	Морковь	Средний TF
Cd	0,12	0,08	0,12	0,08	0,12	0,08	0,13	0,104
Cr	0,09	0,12	0,19	0,21	0,13	0,13	0,14	0,14
Pb	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
Zn	0,52	0,43	0,29	0,22	0,27	0,18	0,25	0,31
Cu	0,22	0,34	0,35	0,27	0,51	0,45	0,52	0,38
Ni	0,32	0,49	0,56	0,74	0,76	0,67	0,72	0,61

Таблица 11

Среднее дневное потребление тяжелых металлов с овощами, мг/кг/сут

Металл	Возрастная группа	Листовая свекла	Латук	Капуста	Листовая капуста	Помидоры	Зеленый перец	Морковь	Средняя DIR	Сумма DIR	RfD
Cd	Взрослые	0,0022	0,0012	0,0020	0,0012	0,0021	0,0012	0,0019	0,0017	0,0072	0,001
	Дети	0,0035	0,0020	0,0033	0,0020	0,0034	0,0019	0,003	0,0027	0,0101	
Cr	Взрослые	0,0070	0,0093	0,0143	0,0154	0,0095	0,0100	0,0106	0,0109	0,0471	1,5
	Дети	0,0112	0,015	0,0229	0,0248	0,0152	0,0161	0,0171	0,0175	0,0662	
Pb	Взрослые	0,0019	0,0014	0,0022	0,0013	0,0012	0,0014	0,002	0,0016	0,0068	0,004
	Дети	0,003	0,0022	0,0035	0,0021	0,002	0,0022	0,0032	0,0026	0,0096	
Zn	Взрослые	0,1603	0,1346	0,0909	0,0698	0,0849	0,0590	0,0784	0,0968	0,4072	0,3
	Дети	0,2576	0,2163	0,1460	0,1121	0,1364	0,0948	0,1259	0,1556	0,5596	
Cu	Взрослые	0,0614	0,0962	0,1019	0,0785	0,1488	0,1315	0,1498	0,1097	0,4432	0,04
	Дети	0,0986	0,1545	0,1637	0,1261	0,2391	0,2113	0,2406	0,1763	0,625	
Ni	Взрослые	0,0579	0,0874	0,0992	0,1289	0,1343	0,1150	0,1260	0,1069	0,4499	0,02
	Дети	0,0931	0,1404	0,1595	0,2071	0,2158	0,1847	0,2024	0,1719	0,6293	

Таблица 12

Коэффициенты опасности для тяжелых металлов вследствие употребления овощей, орошаемых сточными водами

Металл	Возрастная группа	Листовая свекла	Латук	Капуста	Листовая капуста	Помидоры	Зеленый перец	Морковь
Cd	Взрослые	2,204	1,218	2,03	1,218	2,088	1,16	1,856
	Дети	3,542	1,957	3,262	1,957	3,355	1,864	2,982
Cr	Взрослые	0,005	0,006	0,010	0,010	0,006	0,007	0,007
	Дети	0,008	0,010	0,015	0,017	0,010	0,011	0,011
Pb	Взрослые	0,464	0,348	0,537	0,319	0,305	0,348	0,493
	Дети	0,746	0,559	0,862	0,513	0,489	0,559	0,792
Zn	Взрослые	0,534	0,449	0,303	0,233	0,283	0,197	0,261
	Дети	0,859	0,721	0,487	0,374	0,455	0,316	0,420
Cu	Взрослые	1,534	2,404	2,546	1,962	3,721	3,287	3,744
	Дети	2,465	3,863	4,092	3,153	5,979	5,282	6,016
Ni	Взрослые	2,897	4,367	4,962	6,444	6,714	5,748	6,299
	Дети	4,655	7,018	7,973	10,355	10,788	9,236	10,122

Таблица 13

Индекс опасности для тяжелых металлов, воздействующих на одни и те же органы и системы

Критические органы/системы	Контингент	HI _{макс}	HI _{средн}	Вклад отдельных элементов в риск, %					
				Zn	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb
Центральная нервная система	Взрослые	1,7	0,24						100
	Дети	2,4	0,34						100
Сердечно-сосудистая система	Взрослые	22,5	3,21					100	
	Дети	31,5	4,50					100	
Пищеварительная система	Взрослые	8,9	1,27		80,90				9,10
	Дети	12,5	1,78		80,90				9,10
Почки	Взрослые	33,61	4,79			0,09	32,97	66,94	
	Дети	47,14	6,74			0,08	33,16	66,76	
Кровь	Взрослые	14,11	1,23	16,01	83,63	0,36			
	Дети	22,81	1,71	15,91	83,73	0,36			
Развития	Взрослые	40,29	3,46					92,93	7,07
	Дети	64,70	4,84					92,97	7,03
Репродуктивная	Взрослые	1,7	0,24						100
	Дети	2,4	0,34						100

для здоровья жителей, которые постоянно употребляют в пищу овощи, выращиваемые на полях с ирригационными системами, формируются в отношении болезней почек, сердечно-сосудистой системы и развития организма [58]. Риски для здоровья детей фор-

мируются на более высоком уровне, чем для взрослых. Снижение потребления овощей с исследованных территорий несколько уменьшает риски, однако практически в отношении всех поражаемых органов и системы риски характеризуются как неприемлемые.

Выводы. Результаты, полученные в данном исследовании, позволяют сделать вывод, что потребление овощей, орошаемых из систем ирригации с использованием сточных вод, приводит к возникновению неприемлемого риска здоровью как взрослого, так и детского населения. Авторы предлагают осуществлять регулярный мониторинг содержания тяжелых металлов в почве, ирригационной воде и продуктах питания с целью контроля значительного накопления металлов в пищевой цепочке и, таким образом, избежать рисков здоровью.

Представляется, что результаты данного исследования могут стать стимулом для экологов, управленцев и работников системы здравоохранения в их

деятельности, направленной на разъяснение населению опасности употребления в пищу овощей, выращенных на загрязненных почвах, что может привести к снижению рисков здоровью.

Благодарности. Авторы выражают благодарность кафедре физики Университета Аддис-Абебы (AAU) и кафедре химии Университета Арба Минч (AMU) за предоставленную лабораторную базу.

Финансирование. Исследование проведено при финансовой поддержке Университета Аддис-Абебы (AAU) и Университета Арба Минч (AMU).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Agency for Research on Cancer (IARC). Fruit and vegetables. – Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2003. – 24 p.
2. Trace element and heavy metal concentrations in fruits & vegetables of the Gediz River region / S. Delibacak, O.L. Elmaci, M. Secer, A. Bodur // *International Journal of Water*. – 2002. – Vol. 2, № 2–3. – P. 196–211.
3. Fasuyi O.A. Nutritional potentials of some tropical vegetable leaf meals: Chemical characterization and functional properties // *African Journal of Biotechnology*. – 2006. – Vol. 5, № 1. – P. 49–53.
4. Potential toxicity of some traditional leafy vegetables consumed in Nyang'oma Division, Western Kenya / F.O. Orech, T. Akenga, J. Ochora, H. Friis, H. Aagaard // *African Journal for Food Agriculture and Nutritional Development*. – 2005. – Vol. 5, № 1. – P. 1–14.
5. Okeno J.A., Chebet D.K., Mathenge P.W. Status of indigenous vegetables in Kenya // *Acta Hort.* – 2003. – Vol. 621, № 9. – P. 95–100. DOI: 10.17660/ActaHortic.2003.621.10
6. Smith F.I., Eyzaguirre P. African leafy vegetables: Their role in the world health organization's global fruit and vegetables initiatives // *African Journal for Food Agriculture Nutritional Development*. – 2007. – № 7. – P. 1–9.
7. Human Exposure Pathways of Heavy Metal in a Lead-Zinc Mining Area / C. Qu, Z. Ma, J. Yang, Y. Liu, J. Bi, L. Huang // *Heavy Metal Contamination of Water and Soil: Analysis, assessment, and remediation strategies*. – 2014. – P. 129–156.
8. Heavy metal toxicity and the environment / P.B. Tchounwou, C.G. Yedjou, A.K. Patlolla, D.J. Sutton // *Experiential Supplementum*. – 2012. – № 101. – P. 133–164. DOI: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6
9. Highlights of the Exposure factors Handbook (Final Report). – National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, 2011. – 72 p.
10. Method 3005A. Acid digestion of water for total recoverable or dissolved metals for analysis by FLAA or ICP-Spectroscopy. – Washington, DC: Environmental Protection Agency (EPA), 1998. – 5 p.
11. Main Analytical Techniques Used for Elemental Analysis in Various Matrices / A.B.M. Helaluddin, S.K. Reem, A. Mohamed, A.A. Syed // *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. – 2016. – Vol. 15, № 2. – P. 427–434. DOI: 10.4314/tjpr.v15i2.29
12. Dagne B.B. Levels of Some Toxic Heavy Metals in Selected Vegetables, Soil and wastewater Around Eastern Industry Zone, Central Ethiopia. MSc Graduate project. – Haramaya: Haramaya University, 2017. – 6 p.
13. Deribachew B., Made M., Nigussie-Dechassa R., Abi M.T. Selected heavy metals in some vegetables produced through wastewater irrigation and their toxicological implications in eastern Ethiopia // *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition, and Development*. – 2015. – Vol. 15, № 70. – P. 10013.
14. International Conference on Harmonization (ICH). Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology [Электронный ресурс] // ICH. – 1994. – URL: http://www.ich.org/fileadmin/Public/Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Quality/Q2_R1/Step4/Q2_R1_Guideline (дата обращения: 19.02.2021).
15. Chary N.S., Kamala C.T., Raj D.S. Assessing the risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer // *Ecotoxicology Environmental Safety*. – 2008. – Vol. 69, № 3. – P. 513–524. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2007.04.013
16. Transfer of metals from near a smelter in Nanning, China / Y. Cui, Y. Zhu, R. Zhai, Y. Huang, Y. Qiu, L. Liang // *Environmental International Journal*. – 2004. – Vol. 30, № 6. – P. 785–791. DOI: 10.1016/j.envint.2004.01.003
17. Heavy metals in agricultural soils and crops and their health risks in Swat District, northern Pakistan / K. Khan, Y. Lu, H. Khan, M. Ishtiaq, S. Khan, M. Waqas, L. Wei, T. Wang // *Food and Chemical Toxicology*. – № 58. – P. 449–458. DOI: 10.1016/j.fct.2013.05.014
18. Heavy metal health risk assessment for population via consumption of food crops and fruits in Owerri, South Eastern, Nigeria / O.E. Orisakwe, J.K. Nduka, C.N. Amadi, D.O. Dike, O. Bede // *Chemistry Central Journal*. – 2012. – Vol. 1, № 6 (1). – P. 77. DOI: 10.1186/1752-153X-6-77
19. Aschale M., Sileshi Y., Kelly-Quinn M. Health risk assessment of potentially toxic elements via consumption of vegetables irrigated with polluted river water in Addis Ababa, Ethiopia // *Environmental Systems Research*. – 2019. – Vol. 8, № 1. – P. 29. DOI: 10.1186/s40068-019-0157-x
20. U.S. Environmental Protection Agency Risk Characterization Handbook, EPA 100-B-00-002. – Science Policy Council U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460, 2000. – 189 p.
21. Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in lettuce grown in the soils contaminated with long-term wastewater irrigation / S. Khan, A. Lin, S. Zhang, Q.H. Hu, Y.G. Zhu // *Journal of Hazardous Materials*. – 2008. – Vol. 152, № 2. – P. 506–515. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.07.014

22. EPA Region 9 (Pacific Southwest) [Электронный ресурс] // USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). – 2002. – URL: <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg> (дата обращения: 19.02.2021).
23. Reference dose (RfD): Description and use in health risk assessments, Background Document 1A, Integrated risk information system (IRIS) [Электронный ресурс] // USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). – 2013. – URL: <http://www.epa.gov/iris/rfd.htm> (дата обращения: 19.02.2021).
24. Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values (PPRTV) for Iron and Compounds (CASRN 7439-89- 6). – Superfund Health Risk Technical Support Center National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, OH 45268, 2008. – 44 p.
25. USEPA (U.S. Environmental Protection Agency Integrated Risk Information System (IRIS) on Arsenic. Arsenic, inorganic (CASRN7440-38-2) [Электронный ресурс] // USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). – 1998. – URL: <http://www.epa.gov/iris/subst/0278.htm> (дата обращения: 19.02.2021).
26. Solutions to Analytical Chemistry Problems with Clean Water Act Methods. – Washington, DC: USEPA, 2007. – 62 p.
27. Christian G.D., Analytical Chemistry, 6th edition. – New York: John Wiley and Sons, 2003. – 128 p.
28. Temminghoff E.J., Houba V.J. Plant Analysis Procedures Second Edition. – Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004. – 180 p.
29. National Functional Guidelines for Superfund Organic Methods Data Review. – Washington, DC: USEPA, 2008. – 250 p.
30. Csuros M., Csuros C. Environmental sampling and analysis of metals. – USA: CRC Press, 2002. – 404 p.
31. Parsons M.L., Forster A.L. Trace Element Determination by Atomic Spectroscopic Methods – State of the Art // Applied Spectroscopy. – 1983. – Vol. 37. – P. 411–418. DOI: 10.1366/0003702834634857
32. Tamiru A.A., Hameed S., Amare H. Metal Concentration in Vegetables Grown in the Hydrothermally Affected Area in Ethiopia // Journal of Geography & Geology. – 2011. – Vol. 3, № 1. – P. 8. DOI: 10.5539/jgg.v3n1p86
33. Alemayehu T. Heavy metal concentration in the urban environment of Addis Ababa Ethiopia // Journal of Soil and sediment contamination. – 2006. – Vol. 15, № 6. – P. 591–602. DOI: 10.1080/15320380600959081
34. Report of the 33rd session of the codex committee on food additives and contaminants. – The Netherlands: Joint FAO/WHO food standards programme. Codex Alimentarius commission, 2001. – P. 300.
35. Risk-based concentration table. – Washington, DC: USEPA (United State Environmental Protection Agency), 2010. – 11 p.
36. Cadmium (Cd) and lead (Pb) concentrations effect on yields of some vegetables due to uptake from irrigation water in Ghana / E. Mensah, H.E. Allen, R. Shoji, S.N. Odai, N. Kyei-Baffour, E. Ofori, D. Mezler // International Journal of Agricultural Research. – 2008. – Vol. 3, № 4. – P. 243–251. DOI: 10.3923/ijar.2008.243.251
37. Othman O.C. Heavy metals in green vegetables and soils from vegetable gardens in Dar es Salaam, Tanzania // Tanzania Journal of Science. – 2001. – Vol. 27, № 1. – P. 37–48. DOI: 10.4314/tjs.v27i1.18334
38. Nazif W., Perveen S., Shah S.A. Evaluation of irrigation water for heavy metals of Akbarpura area // Journal of Agricultural and Biological Science. – 2006. – Vol. 1. – P. 51–54.
39. Report of the thirty-ninth session of the codex committee on food hygiene. New Delhi: Joint FAO/WHO food standards programme Codex Alimentarius commission, 2008. – 104 p.
40. Guidelines for Drinking Water Quality. – 3rd edition. – World health organization, 2008. – 668 p.
41. Contents of toxic metals in fruits available on Korean markets / M.H. Kim, J.S. Kim, Y.S. Sho, S.Y. Chung, J.O. Lee // Korean Journal of Food Science and Technology. – 2004. – Vol. 36, № 4. – P. 523–526.
42. Heavy metal analyses and nutritional composition of raw and smoked fishes from Ologe and Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria / A.O. Jolaoso, K.L. Njoku, M.O. Akinola, A.A. Adeola // Journal of Applied Sciences and Environmental Management. – 2016. – Vol. 20, № 2. – P. 277–285. DOI: 10.4314/jasem.v20i2.7
43. Trace Heavy Metal Contents of Some Spices and Herbal Plants from Western Anatolia, Turkey / U. Divrikli, N. Horzum, M. Soylak, L. Elci // International Journal of Food Science Technology. – 2006. – Vol. 41, № 6. – P. 712–716. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2005.01140.x
44. Heavy Metals in Vegetables collected from elected Farm and Market sites in Lagos, Nigeria / V.F. Doherty, T.O. Sogbanmu, U.C. Kanife, C. Wright // Global Advanced Research Journal of Environmental Science and Toxicology's. – 2012. – Vol. 1, № 6. – P. 137–142.
45. Determination of Major and Trace Elements in Ten Important Folk Therapeutic Plants of Haripur Basin / S. Jabeen, M.T. Shah, S. Khan, M. Qasim // Journal of medicinal plant research. – 2010. – Vol. 4, № 7. – P. 559–566.
46. Khan M.A., Ahmad I., Inayat R. Effect of environmental pollution on heavy metals content of Withania somnifera // Journal of the Chinese Chemical Society. – 2007. – Vol. 54. – P. 339–343. DOI: 10.1002/jccs.200700049
47. Davies B.E. Cadmium in Heavy Metals in Soil. – Glasgow: Blackie, 1990. – 100 p.
48. Girmaye B.R. Heavy metal and microbial contaminants of some vegetables irrigated with wastewater in selected farms around Adama town, Ethiopia. MSc. Graduate project. – Haramaya: Haramaya University, 2012. – P. 12.
49. Kalagbor I., Diri E. Evaluation of Heavy Metals in Orange, Pineapple, Avocado Pear, and Pawpaw from a Farm in Kaani, Bori, Rivers State Nigeria // International Research Journal of Public and Environmental Health. – 2014. – Vol. 1, № 4. – P. 87–94.
50. Profile of Heavy Metals in Selected Medicinal Plants / S.A. Khan, L. Khan, I. Hussain, K.B. Marwat // Pakistan Journal of Weed Science Research. – 2008. – Vol. 14, № 1–2. – P. 101–110.
51. Ata S., Tayyab S., Rasool A. Analysis of Non-volatile Toxic Heavy Metals (Cd, Pb, Cu, Cr, and Zn) in Allium sativum (Garlic) and Soil Samples Collected from Different Locations of Punjab, Pakistan by Atomic Absorption Spectroscopy // E3S Web of Conferences. – 2013. – № 16004. – P. 1–3. DOI: 10.1051/e3sconf/20130116004
52. Wierzbicka M. How lead loses its toxicity to plants // Acta Societatis Botanicorum Poloniae. – 1995. – № 64. – P. 81–90. DOI: 10.5586/asbp.1995.012
53. Alloway B.J., Ayres C.D. Chemical Principals of environmental pollutions, (2nd edition). – London: American Society of Agronomy, 1997. – P. 545–567.
54. Heavy metal contamination in vegetables and its growing soil / R.C. Tasrina, A. Rowshon, A.M.R. Mustafzur, I. Rafqu, M.P. Ali // Environmental Analytical Chemistry. – 2015. – Vol. 2, № 3. – P. 142–147. DOI: 10.4172/2380-2391.1000142

55. Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from wastewater irrigated area of Varanasi, India / A. Singh, R.K. Sharma, M. Agrawal, F. Marshall // *Tropical Ecology*. – 2010. – Vol. 51. – P. 375–387.

56. Evaluation of certain food additives and contaminants. – Geneva: World Health Organization, 2004. – P. 109.

57. Heavy metals in wheat grains: assessment of potential health risk for inhabitants in Kunshan, China / M. Huang, S. Zhou, B. Sun, Q. Zhao // *Science of the Total Environment*. – 2008. – Vol. 1, № 405 (1–3). – P. 54–61. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.07.004

58. Agency for Toxic Substances and Disease Registry [Электронный ресурс] // ATSDR. – URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/az/c.html> (дата обращения: 19.02.2021).

Фесеха А., Чаубей А.К., Абраха А. Концентрация тяжелых металлов в овощах с ирригационных полей, использующих сточные воды, и потенциальный риск здоровью населения // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 68–81. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.07

UDC 539.1

DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.07.eng

Read
online



Research article

HEAVY METAL CONCENTRATION IN VEGETABLES AND THEIR POTENTIAL RISK FOR HUMAN HEALTH

A. Feseha^{1,2}, A.K. Chaubey¹, A. Abraha³

¹Department of Physics, College of Natural & Computational Sciences, Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia

²Department of Physics, College of Natural & Computational Sciences, Arba Minch University, Arba Minch, Ethiopia

³Department of Physics, College of Natural and Computational Sciences, Samara University, Samara, Ethiopia

This study assesses heavy metal levels in the water, soil, and vegetables (swiss chard, lettuce, cabbage, collard green, tomato, green pepper, and carrot) irrigated with wastewater in Gamo, Ethiopia. The samples of soils, waters, and vegetables were randomly collected, processed, and analyzed for heavy metals using atomic absorption spectroscopy. The obtained results show that the mean concentrations of Cd, Cr, and Ni were the highest, and Pb, Zn, and Cu had the lowest concentration in irrigation waters. The levels of Cd in the Kulfo river area and Chamo Lake area and Cu in most of the farm soils were also found to be higher than the reference values. The study also revealed that the mean levels of Cd in most vegetables and Cr and Pb in some vegetables were higher than the maximum recommended limits set by the World Health Organization / Food and Agriculture Organization 2001. Among the vegetables, cabbage had the highest heavy metal content followed by Swiss-chard, carrot, tomato, collard green, green pepper, and lettuce. The hazard quotient obtained for Cu, and Ni in all vegetable samples and Cd in some vegetable samples exceeded 1. It indicates that there are potential health risks to consumers. This study recommends regular monitoring over heavy metals contents in soils, waters, and foodstuffs to prevent their excessive accumulation in food chains.

Key words: heavy metals; pollution; vegetables; hazard quotient, risk assessment, safety, human health, FAAS.

References

1. Agency for Research on Cancer (IARC). Fruit and vegetables. Lyon, International Agency for Research on Cancer Publ., 2003, 24 p.

2. Delibacak S., Elmaci O.L., Secer M., Bodur A. Trace element and heavy metal concentrations in fruits & vegetables of the Gediz River region. *International Journal of Water*, 2002, vol. 2, no. 2–3, pp. 196–211.

© Feseha A., Chaubey A.K., Abraha A., 2021

Abraham Feseha – Postgraduate student of the Department of Physical Sciences (e-mail: abraham.feseha@aau.edu.et; tel.: +251-111-239768; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5507-6588>).

Ashok Kumar Chaubey – Academician, Doctor of Physical Sciences, Professor (e-mail: chaubeyak@aau.edu.et; tel.: +251-111-239768; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0536-0852>).

Ataklti Abraha – Academician, Doctor of Physical Sciences, Assistance Professor (e-mail: atkl.physics@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8407-2113>).

3. Fasuyi O.A. Nutritional potentials of some tropical vegetable leaf meals: Chemical characterization and functional properties. *African Journal of Biotechnology*, 2006, vol. 5, no. 1, pp. 49–53.
4. Orech F.O., Akenga T., Ochora J., Friis H., Aagaard H. Potential toxicity of some traditional leafy vegetables consumed in Nyang'oma Division, Western Kenya. *African Journal for Food Agriculture and Nutritional Development*, 2005, vol. 5, no. 1, pp. 1–14.
5. Okeno J.A., Chebet D.K., Mathenge P.W. Status of indigenous vegetables in Kenya. *Acta Hort*, 2003, vol. 621, no. 9, pp. 95–100. DOI: 10.17660/ActaHortic.2003.621.10
6. Smith F.I., Eyzaguirre P. African leafy vegetables: Their role in the world health organization's global fruit and vegetables initiatives. *African Journal for Food Agriculture Nutritional Development*, 2007, no. 7, pp. 1–9.
7. Qu C., Ma Z., Yang J., Liu Y., Bi J., Huang L. Human Exposure Pathways of Heavy Metal in a Lead-Zinc Mining Area. *Heavy Metal Contamination of Water and Soil: Analysis, assessment, and remediation strategies*, 2014, pp. 129–156.
8. Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K., Sutton D.J. Heavy metal toxicity and the environment. *Experiential Supplementum*, 2012, no. 101, pp. 133–164. DOI: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6
9. Highlights of the Exposure factors Handbook (Final Report). National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, 2011, 72 p.
10. Method 3005A. Acid digestion of water for total recoverable or dissolved metals for analysis by FLAA or ICP-Spectroscopy. Washington, DC: Environmental Protection Agency (EPA) Publ., 1998, 5 p.
11. Helaluddin A.B.M., Reem S.K., Mohamed A., Syed A.A. Main Analytical Techniques Used for Elemental Analysis in Various Matrices. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 2016, vol. 15, no. 2, pp. 427–434. DOI: 10.4314/tjpr.v15i2.29
12. Dagne B.B. Levels of Some Toxic Heavy Metals in Selected Vegetables, Soil and wastewater Around Eastern Industry Zone, Central Ethiopia. MSc Graduate project. Haramaya, Haramaya University Publ., 2017, 6 p.
13. Deribachew B., Made M., Nigussie-Dechassa R., Abi M.T. Selected heavy metals in some vegetables produced through wastewater irrigation and their toxicological implications in eastern Ethiopia. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition, and Development*, 2015, vol. 15, no. 70, pp. 10013.
14. International Conference on Harmonization (ICH). Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology. *ICH*, 1994. Available at: [http://www.ich.org/fileadmin/Public/Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Quality/Q2_R1/Step4/Q2_R1_Guideline\(19.02.2021\)](http://www.ich.org/fileadmin/Public/Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Quality/Q2_R1/Step4/Q2_R1_Guideline(19.02.2021)).
15. Chary N.S., Kamala C.T., Raj D.S. Assessing the risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotoxicology Environmental Safety*, 2008, vol. 69, no. 3, pp. 513–524. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2007.04.013
16. Cui Y., Zhu Y., Zhai R., Huang Y., Qui Y., Liang L. Transfer of metals from near a smelter in Nanning, China. *Environmental International Journal*, 2004, vol. 30, no. 6, pp. 785–791. DOI: 10.1016/j.envint.2004.01.003
17. Khan K., Lu Y., Khan H., Ishtiaq M., Khan S., Waqas M., Wei L., Wang T. Heavy metals in agricultural soils and crops and their health risks in Swat District, northern Pakistan. *Food and Chemical Toxicology*, no. 58, pp. 449–458. DOI: 10.1016/j.fct.2013.05.014
18. Orisakwe O.E., Nduka J.K., Amadi C.N., Dike D.O., Bede O. Heavy metal health risk assessment for population via consumption of food crops and fruits in Owerri, South Eastern, Nigeria. *Chemistry Central Journal*, 2012, vol. 1, no. 6 (1), pp. 77. DOI: 10.1186/1752-153X-6-77
19. Aschale M., Sileshi Y., Kelly-Quinn M. Health risk assessment of potentially toxic elements via consumption of vegetables irrigated with polluted river water in Addis Ababa, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 2019, vol. 8, no. 1, pp. 29. DOI: 10.1186/s40068-019-0157-x
20. U.S. Environmental Protection Agency Risk Characterization Handbook, EPA 100-B-00-002. Science Policy Council U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460 Publ., 2000, 189 p.
21. Khan S., Lin A., Zhang S., Hu Q.H., Zhu Y.G. Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in lettuce grown in the soils contaminated with long-term wastewater irrigation. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, vol. 152, no. 2, pp. 506–515. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.07.014
22. EPA Region 9 (Pacific Southwest). *USEPA (U.S. Environmental Protection Agency)*, 2002. Available at: <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg> (19.02.2021).
23. Reference dose (RfD): Description and use in health risk assessments, Background Document 1A, Integrated risk information system (IRIS). *USEPA (U.S. Environmental Protection Agency)*, 2013. Available at: <http://www.epa.gov/iris/rfd.tm> (19.02.2021).
24. Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values (PPRTV) for Iron and Compounds (CASRN 7439-89-6). Superfund Health Risk Technical Support Center National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, OH 45268, 2008, 44 p.
25. USEPA (U.S. Environmental Protection Agency Integrated Risk Information System (IRIS) on Arsenic. Arsenic, inorganic (CASRN7440-38-2). *USEPA (U.S. Environmental Protection Agency)*, 1998. Available at: <http://www.epa.gov/iris/subst/0278.htm> (19.02.2021).
26. Solutions to Analytical Chemistry Problems with Clean Water Act Methods. Washington, DC, USEPA, 2007, 62 p.
27. Christian G.D., Analytical Chemistry, 6th edition. New York, John Wiley and Sons Publ., 2003, 128 p.
28. Temminghoff E.J., Houba V.J. Plant Analysis Procedures Second Edition. Netherlands, Kluwer Academic Publishers Publ., 2004, 180 p.
29. National Functional Guidelines for Superfund Organic Methods Data Review. Washington, DC, USEPA Publ., 2008, 250 p.
30. Csuros M., Csuros C. Environmental sampling and analysis of metals. USA, CRC Press Publ., 2002, 404 p.
31. Parsons M.L., Forster A.L. Trace Element Determination by Atomic Spectroscopic Methods – State of the Art. *Applied Spectroscopy*, 1983, vol. 37, pp. 411–418. DOI: 10.1366/0003702834634857
32. Tamiru A.A., Hameed S., Amare H. Metal Concentration in Vegetables Grown in the Hydrothermally Affected Area in Ethiopia. *Journal of Geography & Geology*, 2011, vol. 3, no. 1, pp. 8. DOI: 10.5539/jgg.v3n1p86

33. Alemayehu T. Heavy metal concentration in the urban environment of Addis Ababa Ethiopia. *Journal of Soil and sediment contamination*, 2006, vol. 15, no. 6, pp. 591–602. DOI: 10.1080/15320380600959081
34. Report of the 33rd session of the codex committee on food additives and contaminants. The Netherlands, Joint FAO/WHO food standards programme. Codex Alimentarius commission, 2001, 300 p.
35. Risk-based concentration table. Washington, DC, USEPA (United State Environmental Protection Agency) Publ., 2010, 11 p.
36. Mensah E., Allen H.E., Shoji R., Odai S.N., Kyei-Baffour N., Ofori E., Mezler D. Cadmium (Cd) and lead (Pb) concentrations effect on yields of some vegetables due to uptake from irrigation water in Ghana. *International Journal of Agricultural Research*, 2008, vol. 3, no. 4, pp. 243–251. DOI: 10.3923/ijar.2008.243.251
37. Othman O.C. Heavy metals in green vegetables and soils from vegetable gardens in Dar es Salaam, Tanzania. *Tanzania Journal of Science*, 2001, vol. 27, no. 1, pp. 37–48. DOI: 10.4314/tjs.v27i1.18334
38. Nazif W., Perveen S., Shah S.A. Evaluation of irrigation water for heavy metals of Akbarpura area. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 2006, vol. 1, pp. 51–54.
39. Report of the thirty-ninth session of the codex committee on food hygiene. New Delhi, Joint FAO/WHO food standards programme Codex Alimentarius commission, 2008, 104 p.
40. Guidelines for Drinking Water Quality, 3rd edition. *World health organization*, 2008, 668 p.
41. Kim M.H., Kim J.S., Sho Y.S., Chung S.Y., Lee J.O. Contents of toxic metals in fruits available on Korean markets. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 2004, vol. 36, no. 4, pp. 523–526.
42. Jolaoso A.O., Njoku K.L., Akinola M.O., Adeola A.A. Heavy metal analyses and nutritional composition of raw and smoked fishes from Ologe and Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 2016, vol. 20, no. 2, pp. 277–285. DOI: 10.4314/jasem.v20i2.7
43. Divrikli U., Horzum N., Soylak M., Elci L. Trace Heavy Metal Contents of Some Spices and Herbal Plants from Western Anatolia, Turkey. *International Journal of Food Science Technology*, 2006, vol. 41, no. 6, pp. 712–716. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2005.01140.x
44. Doherty V.F., Sogbanmu T.O., Kanife U.C., Wright C. Heavy Metals in Vegetables collected from elected Farm and Market sites in Lagos, Nigeria. *Global Advanced Research Journal of Environmental Science and Toxicology's*, 2012, vol. 1, no. 6, pp. 137–142.
45. Jabeen S., Shah M.T., Khan S., Qasim M. Determination of Major and Trace Elements in Ten Important Folk Therapeutic Plants of Haripur Basin. *Journal of medicinal plant research*, 2010, vol. 4, no. 7, pp. 559–566.
46. Khan M.A., Ahmad I., Inayat R. Effect of environmental pollution on heavy metals content of *Withania somnifera*. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 2007, vol. 54, pp. 339–343. DOI: 10.1002/jccs.200700049
47. Davies B.E. Cadmium in Heavy Metals in Soil. Glasgow, Blackie Publ., 1990, 100 p.
48. Girmaye B.R. Heavy metal and microbial contaminants of some vegetables irrigated with wastewater in selected farms around Adama town, Ethiopia. MSc. Graduate project. Haramaya, Haramaya University Publ., 2012, 12 p.
49. Kalagbor I., Diri E. Evaluation of Heavy Metals in Orange, Pineapple, Avocado Pear, and Pawpaw from a Farm in Kaani, Bori, Rivers State Nigeria. *International Research Journal of Public and Environmental Health*, 2014, vol. 1, no. 4, pp. 87–94.
50. Khan S.A., Khan L., Hussain I., Marwat K.B. Profile of Heavy Metals in Selected Medicinal Plants. *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 2008, vol. 14, no. 1–2, pp. 101–110.
51. Ata S., Tayyab S., Rasool A. Analysis of Non-volatile Toxic Heavy Metals (Cd, Pb, Cu, Cr, and Zn) in *Allium sativum* (Garlic) and Soil Samples Collected from Different Locations of Punjab, Pakistan by Atomic Absorption Spectroscopy. *E3S Web of Conferences*, 2013, no. 16004, pp. 1–3. DOI: 10.1051/e3sconf/20130116004
52. Wierzbicka M. How lead loses its toxicity to plants. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 1995, no. 64, pp. 81–90. DOI: 10.5586/asbp.1995.012
53. Alloway B.J., Ayres C.D. Chemical Principals of environmental pollutions, (2nd edition). London, American Society of Agronomy, 1997, pp. 545–567.
54. Tasrina R.C., Rowshon A., Mustafzur A.M.R., Rafqu I., Ali M.P. Heavy metal contamination in vegetables and its growing soil. *Environmental Analytical Chemistry*, 2015, vol. 2, no. 3, pp. 142–147. DOI: 10.4172/2380-2391.1000142
55. Singh A., Sharma R.K., Agrawal M., Marshall F. Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from wastewater irrigated area of Varanasi, India. *Tropical Ecology*, 2010, vol. 51, pp. 375–387.
56. Evaluation of certain food additives and contaminants. Geneva, World Health Organization, 2004, 109 p.
57. Huang M., Zhou S., Sun B., Zhao Q. Heavy metals in wheat grains: assessment of potential health risk for inhabitants in Kunshan, China. *Science of the Total Environment*, 2008, vol. 1, no. 405 (1–3), pp. 54–61. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.07.004
58. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *ATSDR*. Available at: <https://www.atsdr.cdc.gov/az/c.html> (19.02.2021).

Feseha A., Chaubey A.K., Abraha A. Heavy metal concentration in vegetables and their potential risk for human health. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 68–81. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.07.eng

Получена: 29.01.2021

Принята: 15.03.2021

Опубликована: 30.03.2021



Научная статья

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ПЕРСОНАЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ЗДОРОВЬЮ, ОБУСЛОВЛЕННОГО БОЛЕЗНЯМИ, СВЯЗАННЫМИ С РАБОТОЙ, НА ПРОТЯЖЕНИИ ВСЕГО ПЕРИОДА ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

П.З. Шур, Н.В. Зайцева, В.А. Фокин, Д.А. Кирьянов, А.А. Хасанова

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

Увеличение возраста выхода на пенсию как пролонгация периода трудовой деятельности диктует необходимость увеличения продолжительности сохранения трудовой активности населения, в том числе и при длительном стаже работы. Особенно это актуально при работе с вредными условиями труда, которые могут быть причиной высоких уровней риска для здоровья работающих, обусловленного болезнями, связанными с работой.

Предложены методические подходы к установлению уровня персонального профессионального риска здоровью, учитывающие профессиональную обусловленность негативных ответов на воздействие факторов трудового процесса, патогенетических механизмов развития нарушений здоровья, их тяжесть, стаж и возраст работников. Для их реализации применен комплекс методов гигиенического и эпидемиологического анализа, клинико-лабораторное обследование работников, математическое моделирование и прогнозирование.

При опробовании этих подходов на примере оценки профессионального риска здоровью работников нефтедобывающей промышленности установлены параметры зависимости изменения предикторных показателей артериальной гипертензии в условиях воздействия производственного шума с изменением стажа и возраста ($b_0 = 0,1427$; $b_1 = 0,007$; $b_2 = -0,372$). Полученные параметры могут быть использованы при проведении оценки риска развития артериальной гипертензии в результате воздействия производственного шума для работников нефтедобывающей промышленности.

Персональный профессиональный риск, обусловленный артериальной гипертензией, у лиц, находящихся под воздействием производственного шума, на момент исследования превышает допустимый уровень ($1 \cdot 10^{-3}$) у 13 % работников (33 человека) в возрасте от 41 до 52 лет со стажем от 19,8 до 33 лет и составляет до $2,4 \cdot 10^{-2}$.

Максимальные значения персонального риска возникновения производственно обусловленной артериальной гипертензии, прогнозируемые к достижению возраста 59 лет, составят до $4,3 \cdot 10^{-2}$ и превысят допустимый уровень у 56,6 % работников, а к достижению 65 лет – $4,7 \cdot 10^{-2}$, при этом превышение приемлемого уровня будет для 64,8 % работников.

Ключевые слова: персональный профессиональный риск, оценка риска, профессионально обусловленные заболевания, сердечно-сосудистые заболевания, артериальная гипертензия, производственные факторы, шум, тяжесть трудового процесса.

В 2019 г. средняя продолжительность жизни в России достигла исторического максимума и составила 73,6 г. [1]. Увеличение ожидаемой продолжительности жизни вместе со снижением рождаемости

послужило основой для законодательного решения¹ повысить пенсионный возраст. Увеличение возраста выхода на пенсию обуславливает необходимость обеспечения улучшения состояния здоровья работ-

© Шур П.З., Зайцева Н.В., Фокин В.А., Кирьянов Д.А., Хасанова А.А., 2021

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>).

Шур Павел Залманович – доктор медицинских наук, ученый секретарь (e-mail: shur@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105>).

Фокин Владимир Андреевич – научный сотрудник отдела анализа риска здоровью (e-mail: fokin@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0539-7006>).

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>).

Хасанова Анна Алексеевна – младший научный сотрудник отдела анализа риска здоровью (e-mail: KhasanovaAA@inbox.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7438-0358>).

¹ О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам назначения и выплаты пенсий: Федеральный закон от 03.10.2018 № 350-ФЗ [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_308156/ (дата обращения: 06.06.2020).

ников, снижения заболеваемости неинфекционными заболеваниями и уменьшения инвалидизации в предпенсионном возрасте [2].

Увеличение возраста выхода на пенсию приводит к продлению периода трудовой активности населения, одним из негативных последствий которого может быть увеличение экспозиции вредных производственных факторов и, как следствие, профессионального риска для здоровья. При этом уровень профессионального риска здоровью определяется не только профессиональными заболеваниями, но и болезнями, связанными с работой (производственно обусловленными заболеваниями) [3]. К наиболее распространенным видам таких заболеваний, приводящим к наибольшим потерям трудовой активности, связанным с временной нетрудоспособностью, относятся болезни органов кровообращения [4].

Развитие заболеваний, связанных с работой, в значительной мере зависит от индивидуальных характеристик работающих (исходного состояния здоровья, возраста, продолжительности работы в условиях воздействия вредных производственных факторов и пр.) [5–7]. Учет при оценке профессионального риска вместе с уровнем экспозиции вредных производственных факторов, индивидуальных характеристик работающих позволяет устанавливать персонализированные уровни риска практически для каждого работника, что весьма значимо при разработке мер по снижению риска, особенно медико-профилактических.

Формированию большинства заболеваний предшествует ряд функциональных нарушений, ассоциированных с патогенетическими механизмами их развития [8]. Для оценки таких нарушений применяются индикаторные прогностические показатели развития заболеваний – предикторы [9]. Анализ частоты выявления предикторных показателей в исследуемой группе может быть использован в оценке вероятности появления заболеваний до их клинической манифестации, что способствует получению более точных результатов оценки риска для здоровья, в том числе профессионального.

Современные методические подходы к оценке профессионального риска позволяют категоризовать его уровни с использованием классов условий труда, индекса профзаболеваний, создают основу для оценки степени причинно-следственной связи нарушений здоровья с работой. Вместе с тем проблемы количественной оценки профессиональных рисков, обусловленных в том числе производственно обусловленными заболеваниями решены недостаточно полно. Также не в полной мере рассмотрены вопросы оценки персональных рисков для каждого работника с учетом индивидуальных характеристик здоровья, возраста и стажа.

В связи с этим актуальным представляется совершенствование методических подходов к оценке

и прогнозированию профессионального риска здоровью с учетом индивидуальных характеристик работающих. Результаты оценки персонального профессионального риска будут способствовать повышению обоснованности и повышению эффективности организационно-технических, административно-правовых и, в особенности, лечебно-профилактических мер по управлению им в течение всего периода трудовой деятельности работающих. Опробование предложенных подходов к оценке персонального профессионального риска целесообразно проводить на примере условий труда, характеризующихся воздействием комплекса вредных производственных факторов, отдельные из которых превышают гигиенические нормативы. Такая ситуация складывается в нефтедобывающей промышленности, где у работников регистрируются как профессиональные заболевания (нейросенсорная тугоухость), так и болезни, связанные с работой (артериальная гипертензия), препятствующие продолжению трудовой деятельности [10].

Цель исследования – разработка и апробация методических подходов к оценке персонального профессионального риска здоровью, обусловленного болезнями, связанными с работой, с учетом возраста, трудового стажа и уровня вредных производственных факторов.

Материалы и методы. Оценка персонального профессионального риска здоровью выполнялась по следующему алгоритму:

- анализ информации об условиях труда;
- эпидемиологический анализ показателей здоровья работников для оценки степени причинно-следственной связи нарушений здоровья с работой;
- проведение клинко-лабораторных исследований состояния здоровья работников;
- оценка степени причинно-следственной связи нарушений здоровья с работой;
- математическое моделирование зависимости вероятности негативных ответов от условий труда, возраста и стажа;
- расчет с использованием полученной модели персонального риска здоровью, обусловленного заболеваниями, связанными с работой.

Предлагаемые методические подходы к оценке персонального профессионального риска здоровью предполагают использование комплекса методов, включая:

1. Анализ информации об условиях труда (данные специальной оценки условий труда, производственного лабораторного контроля), стаже и возрасте работающих, оценку классов условий труда в соответствии с Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса»², категоризацию риска в соответствии с Р 2.2.1766-03

² Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда / утверждено Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 29 июля 2005 г. – М., 2005. – 142 с.

«Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки»³.

2. Эпидемиологический анализ показателей здоровья работников для оценки степени причинно-следственной связи нарушений здоровья с работой (производственной обусловленности заболеваний) по критериям отношения рисков (RR) и этиологической (EF) доли негативных ответов.

Клинико-лабораторные исследования у работающих предикторных показателей (определенных по результатам анализа литературных источников) производственно обусловленных заболеваний проводились специалистами отдела общей и профессиональной патологии (под руководством зам. директора по клинической работе д-р мед. наук О.Ю. Устиновой), отдела биохимических и цитогенетических методов диагностики (зав. д-р мед. наук М.А. Землянова), отдела иммунобиологических методов диагностики (зав. д-р мед. наук О.В. Долгих).

Для установления зависимости развития механизмов формирования заболеваний, связанных с работой, от воздействия производственного шума осуществлялось построение логистических регрессионных моделей зависимости вероятности негативных ответов от условий труда, возраста и стажа (формула 1). Данные модели количественно определяют зависимость вероятности отклонения от нормы предикторных показателей, характеризующих механизмы формирования производственно обусловленных заболеваний с учетом уровня воздействующего фактора, возраста и стажа работающих.

$$p_1 = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3)}} \quad (1)$$

где p_1 – вероятность отклонения предикторных показателей от нормы; x_1 – уровень экспозиции фактора; x_2 – стаж; x_3 – возраст; b_0, b_1, b_2 – параметры математической модели.

Определение параметров математической модели производилось методом наименьших квадратов с применением пакетов программ статистического анализа данных (Statistica 6.0). Оценка достоверности параметров и адекватности модели осуществлялась на основании однофакторного дисперсионного анализа по критерию Фишера. В процессе построения моделей помимо проверок статистических гипотез проводилась экспертиза полученных зависимостей для оценки их биологической адекватности.

Для установления связи изменений предикторов заболеваний с уровнем заболеваемости (оценки реализации патогенетических механизмов) опреде-

лялась вероятность возникновения заболеваний, связанных с работой, у работников с признаками формирования механизмов развития негативных эффектов (предикторными показателями). Такая вероятность высчитывалась как разность частоты заболеваний в группах работников с признаками формирования механизмов развития негативных эффектов и без таковых.

Персональный риск здоровью, обусловленный отдельными заболеваниями, связанными с работой ($R_{\text{проф}}^i$), определялся по формуле (2)

$$R_{\text{проф}}^i = p_1 \cdot p_2 \cdot G^i \quad (2)$$

где p_1 – вероятность отклонения предикторных показателей от нормы с учетом возраста работника; p_2 – вероятность возникновения i -х заболеваний, связанных с работой, у работников с признаками формирования механизмов развития негативных эффектов (предикторными показателями); G – тяжесть (серьезность) i -го заболевания, связанного с работой.

В качестве критерия приемлемости (допустимости) уровня профессионального риска здоровью рассматривалась величина $1 \cdot 10^{-3}$.

Результаты и их обсуждение. Опробование предложенных подходов производилось на примере изучения влияния условий труда на здоровье работников нефтедобывающей промышленности.

В ходе опробования предложенного алгоритма оценка условий труда проводилась по результатам производственного контроля и специального анализа условий труда 60 рабочих мест (256 операторов по добыче нефти и газа в группе исследования и 37 инженерно-технических работников в группе сравнения).

Информация о заболеваниях работающих, клинико-лабораторных предикторных показателях производственно обусловленных заболеваний была получена в результате специального медицинского обследования и по данным анализа обращаемости за медицинской помощью. По данным литературных источников прогипертензивное действие производственного шума находится в прямой зависимости от интенсивности, частоты и продолжительности его воздействия⁴. Изменения системы кровообращения при воздействии интенсивного производственного шума характеризуются развитием нейроциркуляторного синдрома и оксидантного стресса, протекающего с гипертензивными реакциями и тенденцией к переходу в артериальную гипертензию [11]. Ряд наблюдений свидетельствует о наличии механизмов, лежащих в основе нарушений функций сердечно-сосудистой системы, которые среди прочих вклю-

³ Р 2.2.1766-03. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901902053> (дата обращения: 06.06.2020).

⁴ Кузьмина О.Ю. Клинико-эпидемиологические особенности метаболического синдрома у больных профессиональными заболеваниями: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Самара, 2009. – 24 с.

чают в себя эндотелиальную дисфункцию, жесткость сосудистой стенки и освещаются как ранние признаки сосудистого поражения при артериальной гипертензии [12–15]. Именно эндотелиальная дисфункция признается основным предиктором сердечно-сосудистых заболеваний [16–19].

В качестве предикторных для производственно обусловленной артериальной гипертензии показателей, изменяющихся в ходе реализации патогенетических механизмов оксидативного стресса и вегетативной дисфункции, астеновегетативного синдрома, периферического ангиодистонического синдрома, были исследованы малоновый диальдегид плазмы (293 пробы), кортизол (106 пробы), гидроперекись липидов (68 проб), адреналин (61 проба) [11].

Профессиональный состав работающих, занятых на выполнении вредных работ, представлен основной специальностью: оператор по добыче нефти и газа (ОДНГ). Рабочие места операторов характеризуются сходным набором вредных производственных факторов, все работники выполняют одинаковые профессиональные обязанности в условиях сходного режима работы.

Установлено, что на работников воздействуют следующие группы опасных и вредных производственных факторов: физические, химические и психофизиологические⁵. Условия труда работников, непосредственно связанных со сбором продукции скважин и предварительной подготовки нефти, характеризуются сочетанным воздействием производственного шума, вредных химических веществ и неблагоприятных параметров тяжести трудового процесса. Комплекс вредных производственных факторов химической природы представлен преимущественно веществами 2–4-го классов опасности (нефть и ее компоненты, а также сероводород). По результатам проведенной на предприятии оценки рабочих мест установлено, что, согласно Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда», на 100,0 % рабочих мест ОДНГ условия труда оценены как вредные. По результатам специальной оценки условий труда на рабочих местах уровень

шума достигает 80–85 дБА при нормативе 80 дБА, тяжесть трудового процесса относится к вредным условиям труда первой и второй степени, концентрации дигидросульфида по результатам производственного лабораторного контроля достигают разовых значений 6,9 мг/м³ (при нормативе 3 мг/м³). При этом по данным мониторинговых исследований содержания ароматических углеводородов (бензол, толуол, этилбензол, ксилолы) в воздухе рабочей зоны в течение всего периода наблюдений превышений максимальных разовых и среднесменных предельно допустимых концентраций (ПДК) установлено не было.

Основными производственными факторами, воздействующими на работников, определяя структуру риска, являются: шум, тяжесть трудового процесса, химический фактор (дигидросульфид в смеси с углеводородами).

Условия труда инженерно-технических работников (ИТР) при аттестации рабочих мест оценены как вредные на 100 % рабочих мест (класс условий труда 3.1). Производственные факторы, по которым класс условий труда отнесен к вредным, – напряженность трудового процесса (табл. 1).

В соответствии с руководством Р 2.2.1766-03 категория риска для операторов по добыче нефти и газа – средний (существенный) риск; для ИТР – малый (умеренный) риск.

Тяжесть труда в комплексе с повышенными уровнями шума способствует развитию и формированию нейросенсорной тугоухости вследствие нарушения церебральной гемодинамики [20]. Помимо этого тяжесть труда ускоряет дегенеративно-дистрофические процессы в позвоночнике и способствует более частому развитию полисегментарного остеохондроза [21].

На основе проведенного обследования выбранных контингентов, а также данных о заболеваемости работников, представленных предприятием, установлена структура заболеваемости в обеих группах. У значительной доли работников с выявленными нарушениями со стороны костно-мышечной системы – 11,8 % (различные формы дорсопатии и остеоартроза). Значительную долю в структуре заболеваний занимают заболевания сердечно-сосудистой системы – 15,5 %

Таблица 1

Классификация условий труда по результатам аттестации рабочих мест операторов по добыче нефти и газа согласно Р 2.2.2006-05

Участок	Профессии	Класс условий труда по интенсивности воздействия факторов						Общая оценка
		Химический	Шум (Лэкв.)	Микроклимат	Световая среда	Тяжесть труда	Напряженность труда	
1	ОДНГ 4р	3.1	2–3.1	2	2	3.1–3.2	2	3.2
2	ОДНГ 5р	3.1	2–3.1	2	2	3.1–3.2	2	3.2
3	ОДНГ 6р	3.1	2–3.1	2	2	3.1–3.2	2	3.2

⁵ ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-0-003-74-ssbt> (дата обращения: 06.06.2020).

(гипертензивная болезнь с преимущественным поражением сердца без сердечной недостаточности, сосудистая головная боль, варикозное расширение вен нижних конечностей), болезни желудочно-кишечного тракта – 5,3 % (гастродуодениты, холециститы, болезни поджелудочной железы), заболевания органов дыхания – 20,9 % (фарингиты, риниты, бронхиты, тонзиллиты). Помимо вышеупомянутых заболеваний в группе наблюдения отмечаются расстройства вегетативной (автономной) нервной системы – 1,99 %. Профессиональные заболевания у обследованных работников не регистрировались.

Производственная обусловленность у ОДНГ подтверждена только в отношении эссенциальной (первичной) гипертензии ($RR = 2,02$; $EF\% = 50,57$, Степень профессиональной обусловленности – средняя, $\chi^2 = 3,92$). В отношении других заболеваний связи с профессиональной деятельностью не выявлено.

Отклонения предикторных показателей, изменяющихся в ходе реализации патогенетических механизмов оксидативного стресса и вегетативной дисфункции, приводящих к развитию артериальной гипертензии, были выявлены у 51 % ОДНГ и 37 % ИТР.

В результате математического моделирования получены параметры зависимости изменения предикторного показателя артериальной гипертензии (уровня кортизола) под воздействием производственного шума с изменением стажа и возраста ($b_0 = 0,1427$; $b_1 = 0,007$; $b_2 = -0,372$). Полученные параметры были использованы при проведении оценки риска развития артериальной гипертензии в результате воздействия производственного шума.

Вероятность развития артериальной гипертензии у лиц с изменением выбранного предиктора (10 человек из 121) составила 0,083. Тяжесть артериальной гипертензии (G) – 0,578 [22, 23].

Предложенные методические подходы к установлению уровня персонального профессионального риска здоровью, учитывающие профессиональную обусловленность негативных ответов на воздействие факторов трудового процесса, патогенетических механизмов развития нарушений здоровья, их тяжесть, стаж и возраст работников, позволили установить значения персонального риска возникновения артериальной гипертензии, связанной с работой, для работников группы наблюдения.

Персональный риск возникновения производственно обусловленной артериальной гипертензии

(у лиц, находящихся под воздействием производственного шума) на момент исследования превышает допустимый уровень ($1 \cdot 10^{-3}$) у работников в возрасте от 41 до 52 лет, со стажем от 19,8 до 33 лет (33 человека, 13 % от группы наблюдения) и составляет от $1 \cdot 10^{-3}$ до $2,4 \cdot 10^{-2}$, что при максимальном стаже (33 года) существенно (до 24 раз) превышает допустимый уровень.

Данные оценки персонального риска возникновения производственно обусловленной артериальной гипертензии у работников группы наблюдения представлены в табл. 2.

Значения персонального риска возникновения производственно обусловленной артериальной гипертензии, прогнозируемые к достижению возраста 59 лет, превысят допустимый уровень у 56,6 % работников (145 человек), со стажем от 29,8 до 41,2 г. составляют от $1 \cdot 10^{-3}$ до $43 \cdot 10^{-3}$, что существенно (до 43 раз) превышает допустимый уровень.

Значения персонального риска возникновения производственно обусловленной артериальной гипертензии, прогнозируемые к достижению возраста 65 лет, превысят допустимый уровень у 64,8 % работников (166 человек), со стажем от 34,4 до 47,2 г. составляют от $1 \cdot 10^{-3}$ до $4,7 \cdot 10^{-2}$, что существенно (до 47 раз) превышает допустимый уровень.

Таким образом, при опробовании методических подходов к оценке персонального профессионального риска здоровью, обусловленного воздействием производственных факторов, показано, что такие подходы позволяют как количественно оценивать уровень риска для отдельных работников, так и осуществлять его прогнозирование на протяжении всего периода трудовой деятельности.

Выводы. Предложены методические подходы к установлению уровня персонального профессионального риска здоровью, обусловленного болезнями, связанными с работой, учитывающие профессиональную обусловленность негативных ответов на воздействие факторов трудового процесса, патогенетический механизм развития нарушений здоровья, их тяжесть, стаж и возраст работников.

При опробовании этих подходов на примере оценки профессионального риска для работников нефтедобывающей промышленности установлены параметры зависимости изменения предикторных показателей профессионально обусловленной артериальной гипертензии (на примере уровня кортизола)

Таблица 2

Данные оценки персонального риска возникновения артериальной гипертензии, связанной с работой, у работников группы наблюдения

Возрастная категория	Диапазон стажа работников с превышением уровня допустимого риска, лет	Диапазон значений, превышающих допустимый риск	Доля лиц с превышением допустимого уровня риска, %
Возраст от 41 до 52 лет (на момент исследования)	19,8–33	0,001–0,024	13
К достижению возраста 59 лет	29,8–41,2	0,001–0,043	56,6
К достижению возраста 65 лет	34,42–47,17	0,001–0,047	64,8

под воздействием производственного шума с изменением стажа и возраста ($b_0 = 0,1427$; $b_1 = 0,007$; $b_2 = -0,372$). Полученные параметры могут быть использованы при проведении оценки риска развития артериальной гипертензии в результате воздействия производственного шума для работников нефтедобывающей промышленности.

Предложенные подходы позволяют количественно оценивать уровень риска для отдельных работников и прогнозировать его на протяжении всего периода трудовой деятельности. Так, персональный риск возникновения производственно обусловленной артериальной гипертензии (у лиц, находящихся под воздействием производственного шума) на момент исследования превышает допустимый уровень ($1 \cdot 10^{-3}$) у 13 % (в возрасте от 41 до 52 лет, со стажем от 19,8 до 33 лет) и составляет до $2,4 \cdot 10^{-2}$. Максимальные значения персонального риска возникновения артериальной гипертензии, связанной с работой, прогнозируемые к достижению возраста 59 лет, составят до $4,3 \cdot 10^{-2}$ и превысят допустимый уровень у

56,6 % работников, а к достижению 65 лет – $4,7 \cdot 10^{-2}$, при этом превышение приемлемого уровня будет для 64,8 % работников.

Для категории работников с недопустимыми значениями персонального риска возникновения производственно обусловленной артериальной гипертензии на момент исследования предложены медико-профилактические мероприятия в виде расширения программы медицинского обследования с целью определения уровней предикторов артериальной гипертензии (кортизол, гидроперекись липидов, малоновый диальдегид плазмы), применения более эффективных средств индивидуальной защиты (снижающих воздействие шума на 10 и более дБА), а также пересмотр режима труда и отдыха.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Список литературы

1. Продолжительность жизни в России достигла исторического максимума [Электронный ресурс] // КарелInform. – 2020. – URL: <https://karelinform.ru/news/society/22-04-2020/prodolzhitelnost-zhizni-v-rossii-dostigla-istoricheskogo-maksimuma> (дата обращения: 15.05.2020).
2. Гундаров И.А., Сафонов А.Л. Задачи здравоохранения и профсоюзов в преодолении кадрового демографического кризиса в России // Труд и социальные отношения. – 2015. – № 4. – С. 23–35.
3. Профессиональный риск. Теория и практика расчета: монография / под ред. А.Г. Хрупачева, А.А. Хадарцева. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. – 330 с.
4. Леонов С.А., Сон И.М., Моравская С.В. Динамика заболеваемости с временной утратой трудоспособности в Российской Федерации в 2007–2011 годах // Менеджер здравоохранения. – 2013. – № 8. – С. 6–14.
5. Сбережение здоровья работающих и предиктивно-превентивно-персонифицированная медицина / Н.Ф. Измеров, И.В. Бухтияров, Л.В. Прокопенко, Л.П. Кузьмина // Медицина труда и промышленная экология. – 2013. – № 6. – С. 7–12.
6. Лужников Е.А. Клиническая токсикология. – 2-е изд. – М.: Медицина, 1994. – 256 с.
7. Технологии персонального мониторинга и оптимизации условий труда работников «шумовых профессий» / В.Н. Зинкин, С.П. Драган, В.И. Солнцев, А.Д. Котляр-Шапиров, Е.А. Кондратьева // Безопасность жизнедеятельности: вызовы и угрозы современности, наука, образование, практика. – 2015. – С. 344–348.
8. Казмирова О.В., Газалиева М.А. Перспективы изучения коморбидных состояний в клинической медицине // Медицина и экология. – 2017. – Т. 84, № 3. – С. 8–16.
9. Современные подходы к оценке персонального профессионального риска в химических производствах / Т.М. Рыбина, Т.М. Сушинская, С.М. Чубрик, А.Л. Рыбина, И.В. Гинько, А.В. Иовве // Здоровье и безопасность на рабочем месте: материалы II международного научного форума. – 2017. – С. 217.
10. Федосов А.В., Закирова З.А., Гусева И.Е. Профессиональные риски работников нефтяной промышленности // Безопасность труда в промышленности. – 2016. – № 6. – С. 70–73.
11. Фролкис В.В. Биология старения. – М.: Наука, 1982. – 616 с.
12. Мовергоз С.В., Булычева Е.В., Сетко Н.П. Физиолого-гигиеническая характеристика факторов риска развития артериальной гипертензии у машинистов нефтехимического предприятия // Оренбургский медицинский вестник. – 2018. – Т. 6, № 4 (24). – С. 31–34.
13. Park S. Role of Inflammation in the Pathogenesis of Arterial Stiffness // Yonsei Med J. – 2012. – Vol. 53, № 2. – P. 258–261. DOI: 10.3349/ymj.2012.53.2.258
14. Vascular Stiffness and Increased Pulse Pressure in the Aging Cardiovascular System / J. Stepan, V. Barodka, D.E. Berkowitz, D. Nyhan // Cardiology Research and Practice. – 2011. – Vol. 2011. – P. 263585. DOI: 10.4061/2011/263585
15. Куликов В.П. Ультразвуковая диагностика сосудистых заболеваний. – М.: ООО Фирма «Стром», 2007. – 512 с.
16. Кобалава Ж.Д., Котовская Ю.В., Моисеев В.С. Артериальная гипертензия. Ключи к диагностике и лечению. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 864 с.
17. Сучков И.А. Коррекция эндотелиальной дисфункции: современное состояние проблемы (обзор литературы) // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. – 2012. – Т. 20, № 4. – С. 151–157.
18. Киричук В.Ф., Глыбочко П.В., Пономарева А.И. Дисфункция эндотелия. – Саратов: Изд-во Саратовского мед. ун-та, 2008. – 129 с.
19. Hedner T., Hansson L., Himmelmann A. Endothelial Dysfunction – A Challenge for Hypertension Research // Blood Pressure. – 2000. – Vol. 9, № 1. – P. 2–3. DOI: 10.1080/080370500439353

20. Endothelial Dysfunction as a Target for Prevention of Cardiovascular Disease / D. Versari, E. Daghini, A. Virdis, L. Ghiadoni, S. Taddei // *Diabetes Care*. – 2009. – Vol. 32, № 2. – P. 314–321. DOI: 10.2337/dc09-S330

21. Дедунов С.В. Особенности сочетанного действия шума и вибрации на формирование профессиональной сенсоневральной тугоухости // *Здоровье и окружающая среда: сборник материалов международной научно-практической конференции* / под ред. Н.П. Жуковой. – Минск, 2019. – С. 179–180.

22. Профессиональная нейроортопедическая патология при воздействии вибрации и физических нагрузок / Г.Н. Лагутина, И.Е. Рудакова, В.В. Матюхин, Э.Ф. Шардакова // *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*. – 2006. – Т. 49, № 3. – С. 87–89.

23. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография / под ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой. – М.: Пермь: Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2014. – 738 с.

Методические подходы к оценке персонального профессионального риска здоровью, обусловленного болезнями, связанными с работой, на протяжении всего периода трудовой деятельности / П.З. Шур, Н.В. Зайцева, В.А. Фокин, Д.А. Кирьянов, А.А. Хасанова // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 82–89. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.08

UDC 613.6.027

DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.08.eng

Read
online



Research article

METHODICAL APPROACHES TO ASSESSING INDIVIDUAL OCCUPATIONAL HEALTH RISK CAUSED BY WORK-RELATED DISEASES DURING THE WHOLE EMPLOYMENT PERIOD

P.Z. Shur, N.V. Zaitseva, V.A. Fokin, D.A. Kiryanov, A.A. Khasanova

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

An increase in retirement age means that employment period is prolonged; it calls for preserving people's working capacities for a longer period of time including those with long-term working experience. It is especially vital when it comes to adverse working conditions that might cause high health risks for workers due to work-related diseases.

We suggested methodical approaches to determining individual occupational health risks; these approaches took into account occupationally induced negative responses to impacts exerted by work-related factors; pathogenetic mechanisms of health disorders occurrence; gravity of health disorders; workers' age and working experience. To implement these approaches, we applied a set of procedures that included hygienic and epidemiologic analysis, clinical and laboratory examination of workers, mathematic modeling and prediction.

We tested these approaches via assessing occupational health risks for workers employed at oil-extracting enterprises and it allowed us to determine parameters of dependence between changes in arterial hypertension predictors under exposure to occupational noise and changes in age and working experience ($b_0 = 0.1427$; $b_1 = 0.007$; $b_2 = -0.372$). The obtained parameters can be used in assessing risks of arterial hypertension occurrence due to exposure to occupational noise for workers employed in oil extraction.

Individual occupational risk caused by arterial hypertension in people exposed to occupational noise was higher than its permissible level ($1 \cdot 10^{-3}$) for 13% workers (33 people) aged from 41 to 52 and working experience from 19.8 to 33 years; the risk detected in our research amounted up to $2.4 \cdot 10^{-2}$.

© Shur P.Z., Zaitseva N.V., Fokin V.A., Kiryanov D.A., Khasanova A.A., 2021

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>).

Pavel Z. Shur – Doctor of Medical Sciences, Academic Secretary (e-mail: shur@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105>).

Vladimir A. Fokin – Researcher at the Health Risk Analysis Department (e-mail: fokin@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0539-7006>).

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

Anna A. Khasanova – Junior Researcher in the Health Risk Analysis Department (e-mail: KhasanovaAA@inbox.ru; tel.: +7 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7438-0358>).

Maximum individual risks of work-related arterial hypertension that are predicted to occur at an age close to 59 years amount up to $4.3 \cdot 10^{-2}$ and they will be higher than permissible levels for 56.6% работников; at an age close to 65 years, up to $4.7 \cdot 10^{-2}$, and they will be higher than permissible levels for 64.8% workers.

Key words: individual occupational risk, risk assessment, work-related diseases, cardiovascular diseases, arterial hypertension, occupational factors, noise, labor hardness.

References

1. Prodolzhitel'nost' zhizni v Rossii dostigla istoricheskogo maksimuma [Life expectancy in Russia has reached its historical maximum]. *Karelinform*, 2020. Available at: <https://karelinform.ru/news/society/22-04-2020/prodolzhitel'nost-zhizni-v-rossii-dostigla-istoricheskogo-maksimuma> (15.05.2020) (in Russian).
2. Gundarov I.A., Safonov A.L. Goals of the health service and trade unions to overcome the human resources population crisis in Russia. *Trud i sotsial'nye otnosheniya*, 2015, no. 4, pp. 23–35 (in Russian).
3. Professional'nyi risk. Teoriya i praktika rascheta: monografiya [Occupational risk. Theory and practice of calculating it: a monograph]. In: A.G. Khrupacheva, A.A. Khadartseva eds. Tula, Izd-vo TulGU Publ., 2011, 330 p. (in Russian).
4. Leonov S.A., Son I.M., Moravskaya S.V. Dynamics of morbidity with a temporary disability in Russian Federation in the period of 2007–2011 years. *Menedzher zdavookhraneniya*, 2013, no. 8, pp. 6–14 (in Russian).
5. Izmerov N.F., Bukhtiyarov I.V., Prokopenko L.V., Kuz'mina L.P. Protecting health of workers and predictive preventive personified medicine. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2013, no. 6, pp. 7–12 (in Russian).
6. Luzhnikov E.A. *Klinicheskaya toksikologiya* [Clinical toxicology]. 2nd edition. Moscow, Meditsina Publ., 1994, 256 p. (in Russian).
7. Zinkin V.N., Dragan S.P., Solntsev V.I., Kotlyar-Shapiro A.D., Kondrat'eva E.A. Tekhnologii personal'nogo monitoring i optimizatsii uslovii truda rabotnikov «shumovykh professii» [Technologies for individual monitoring and working conditions optimization for workers with «noisy occupations»]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: vyzovy i ugrozy sovremennosti, nauka, obrazovanie, praktika*, 2015, pp. 344–348 (in Russian).
8. Kazimirova O.V., Gazalieva M.A. Prospects for the study of comorbid states in clinical medicine. *Meditsina i ekologiya*, 2017, vol. 84, no. 3, pp. 8–16 (in Russian).
9. Rybina T.M., Sushinskaya T.M., Chubrik S.M., Rybina A.L., Gin'ko I.V., Iovve A.V. Sovremennye podkhody k otsenke personal'nogo professional'nogo riska v khimicheskikh proizvodstvakh [Contemporary approaches to assessing individual occupational health risks at chemical productions]. *Zdorov'e i bezopasnost' na rabochem meste: materialy II mezhdunarodnogo nauchnogo foruma*, 2017, pp. 217 (in Russian).
10. Fedosov A.V., Zakirova Z.A., Guseva I.E. Professional'nye riski rabotnikov neftyanoi promyshlennosti [Occupational health risks for workers employed in oil industry]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 2016, no. 6, pp. 70–73 (in Russian).
11. Frol'kis V.V. *Biologiya starenia* [Biology of ageing]. Moscow, Nauka Publ., 1982, 616 p. (in Russian).
12. Movergoz S.V., Bulychева E.V., Setko N.P. Physiological and hygienic characteristics of risk factors of development of arterial hypertension in machinists of petrochemical enterprise. *Orenburgskii meditsinskii vestnik*, 2018, vol. 6, no. 4 (24), pp. 31–34 (in Russian).
13. Park S. Role of Inflammation in the Pathogenesis of Arterial Stiffness. *Yonsei Med J*, 2012, vol. 53, no. 2, pp. 258–261. DOI: 10.3349/ymj.2012.53.2.258
14. Stepan J., Barodka V., Berkowitz D.E., Nyhan D. Vascular Stiffness and Increased Pulse Pressure in the Aging Cardiovascular System. *Cardiology Research and Practice*, 2011, vol. 2011, pp. 263585. DOI: 10.4061/2011/263585
15. Kulikov V.P. Ul'trazvukovaya diagnostika sosudistyykh zabolevaniy [Ultrasound diagnostics of cardiovascular diseases]. Moscow, OOO Firma «Strom» Publ., 2007, 512 p. (in Russian).
16. Kobalava Zh.D., Kotovskaya Yu.V., Moiseev B.C. Arterial'naya gipertoniya. Klyuchi k diagnostike i lecheniyu [Arterial hypertension. Keys to its diagnostics and treatment]. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2009, 864 p. (in Russian).
17. Suchkov I.A. Correction of endothelial dysfunction: current status of the problem (literature review). *Rossiiskii mediko-biologicheskii vestnik imeni akademika I.P. Pavlova*, 2012, vol. 20, no. 4, pp. 151–157 (in Russian).
18. Kirichuk V.F., Glybochko P.V., Ponomareva A.I. Disfunktsiya endoteliya [Endothelial dysfunction]. Saratov, Izd-vo Saratovskogo med. un-ta Publ., 2008, 129 p. (in Russian).
19. Hedner T., Hansson L., Himmelmann A. Endothelial Dysfunction – A Challenge for Hypertension Research. *Blood Pressure*, 2000, vol. 9, no. 1, pp. 2–3. DOI: 10.1080/080370500439353
20. Versari D., Daghini E., Virdis A., Ghiadoni L., Taddei S. Endothelial Dysfunction as a Target for Prevention of Cardiovascular Disease. *Diabetes Care*, 2009, vol. 32, no. 2, pp. 314–321. DOI: 10.2337/dc09-S330
21. Dedunov S.V. Osobennosti sochetannogo deistviya shuma i vibratsii na formirovanie professional'noi senevral'noi tugoukhosti [Peculiarities of combined effects produced by noise and vibration on occupational sensorineural hearing loss occurrence]. *Sbornik materialov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda»*. In: N.P. Zhukova ed. Minsk, 2019, pp. 179–180 (in Russian).
22. Lagutina G.N., Rudakova I.E., Matyukhin V.V., Shadakova E.F. Occupational neuroorthopedical pathology at influence of vibration and physical loading. *Byulleten' VSNTs SO RAMN*, 2006, vol. 49, no. 3, pp. 87–89 (in Russian).
23. Health risk analysis in the strategy of state social and economical development. In: G.G. Onishchenko, N.V. Zaitseva eds. Moscow, Perm', Izdatel'stvo Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta Publ., 2014, 738 p. (in Russian).

Shur P.Z., Zaitseva N.V., Fokin V.A., Kiryanov D.A., Khasanova A.A. Methodical approaches to assessing individual occupational health risk caused by work-related diseases during the whole employment period. Health Risk Analysis, 2021, no. 1, pp. 82–89. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.08.eng

Получена: 30.09.2020

Принята: 17.11.2020

Опубликована: 30.03.2021



Научная статья

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ КЛАССИФИКАЦИИ НАПРЯЖЕННОСТИ ТРУДА ДЛЯ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА

И.В. Бухтияров, О.И. Юшкова, М. Ходжиев, А.В. Капустина, А.Ю. Форверц

Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова, Россия, 105275,
г. Москва, проспект Буденного, 31

Представлены результаты обоснования и выбора информативных физиологических показателей для оценки и контроля уровней функционального состояния и класса условий труда с учетом физических и нервно-эмоциональных нагрузок у операторов станков с числовым программным управлением. На основе комплексных физиолого-эргономических исследований и анализа ретроспективных данных показано, что у работников различных профессиональных групп, занятых физическим трудом, в динамике рабочей смены установлено наличие состояния напряжения, которое при большом стаже работы может приводить к перенапряжению нервно-мышечной системы и возникновению профессиональных заболеваний.

Обоснованы и разработаны информативные физиологические критерии, позволяющие оценивать и контролировать уровни функционального состояния и работоспособности, класс условий труда с учетом вида трудовой деятельности. Использован комплекс профессиографических, физиолого-эргономических и клинко-статистических методов исследования для изучения особенностей формирования функционального состояния организма работников при воздействии производственных факторов с учетом вида труда и нагрузок, что позволило обосновать оценку напряженности труда.

Результаты исследований показали, что при региональных и общих мышечных нагрузках у работников, занятых физическим трудом, наблюдалась высокая взаимосвязь выносливости мышц кисти к статическому усилию (% снижения к концу смены) с классом условий труда. Данный показатель рекомендован для контроля уровня функционального состояния и работоспособности с учетом вида трудовой деятельности и гендерных различий. Требуется накопление научных данных для подтверждения аналогичной зависимости показателя общей физической работоспособности от класса условий труда. Результаты физиологических исследований используются для разработки профилактических мероприятий у работников.

Ключевые слова: физиологические показатели, классификация, напряженность труда, физические и нервно-эмоциональные нагрузки, класс условий труда, функциональное состояние, перенапряжение, профилактика.

В настоящее время для прогнозирования возможных изменений в состоянии здоровья работников недостаточно выявлены особенности формирования перенапряжения функциональных систем организма работников современных форм труда в зависимости от класса напряженности трудового процесса. Потребность в создании классификации факторов трудового процесса (напряженности и тя-

жести труда) с разработкой таблицы критериев показателей возникла давно. Первой попыткой такого рода принято считать публикацию 1970 г. известных физиологов труда А.В. Васильевой, С.И. Горшкова, М.А. Грицевского и др. «Оценка физической тяжести и нервной напряженности труда» в материалах симпозиума «Режимы труда и отдыха, графики сменности в ведущих отраслях промышленности» [1].

© Бухтияров И.В., Юшкова О.И., Ходжиев М., Капустина А.В., Форверц А.Ю., 2021

Бухтияров Игорь Валентинович – член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор (e-mail: ivdukhtiyarov@mail.ru; тел.: 8 (495) 365-02-09; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8317-2718>).

Юшкова Ольга Игоревна – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории физиологии труда и профилактической эргономики (e-mail: doktorolga@inbox.ru; тел.: 8 (916) 541-20-48; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6704-3537>).

Ходжиев Махмадамин – кандидат медицинских наук, докторант (e-mail: amin.dok59@mail.ru; тел.: 8 (968) 585-12-95; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5116-2486>).

Капустина Ангелина Владимировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии труда и профилактической эргономики (e-mail: ft-matuhin@mail.ru; тел.: 8 (903) 542-45-74; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8631-0074>).

Форверц Анна Юрьевна – младший научный сотрудник лаборатории физиологии труда и профилактической эргономики, аспирант (e-mail: agniia.forverts@gmail.com; тел.: 8 (903) 201-17-82; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3485-5221>).

Авторы совершенно справедливо отмечали, что труд в биологическом плане является важной функцией организма и характеризуется определенной физиологической стоимостью. Физиологическая стоимость работы, то есть степень функционального напряжения организма при трудовом процессе, носит в повседневном языке наименование тяжести труда. Более точный подход к научной терминологии указывает, что в данном случае правильнее говорить о физической тяжести и нервной напряженности труда. Это обосновывается следующим образом.

Функциональное напряжение организма при трудовом процессе схематично можно свести к двум сторонам – энергетической и информационной. Первая преобладает в случае преимущественно физического труда, вторая – в основном умственного. Нагрузку на организм при труде, требующем мышечных усилий и соответствующего энергетического обеспечения, физиологи классифицируют как тяжесть труда.

Нагрузку на организм при труде, требующем интенсивной работы мозга по получению и анализу информации, физиологи именуют напряженностью труда.

В дальнейшем критерии дорабатывались и были включены в «Гигиеническую классификацию труда (по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса)» (Москва, 1986)¹. Принцип дифференциации условий и характера труда предусматривал степень отклонения параметров производственной среды и трудового процесса от действующих гигиенических нормативов и влияния на функциональное состояние и здоровье работников. По этим показателям выделялись три класса условий и характера труда.

Разработанные гигиенистами и физиологами труда «Гигиеническая классификация труда» (1986), руководство Р 2.2.013-94², переизданное в 1999 г.³, и ныне действующее Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудо-

вого процесса. Критерии и классификация условий труда»⁴ позволяют оценить напряженность труда по пяти видам нагрузок: интеллектуальная, сенсорная, эмоциональная, монотонная, режим работы. Однако в настоящее время подчеркиваются трудности применения этой методики для количественной оценки, а не только качественного определения интеллектуальной, эмоциональной нагрузки и т.д. при изменении длительности рабочего дня, различной организации технологического цикла, непостоянстве рабочего места.

Изменение характера труда работников современных видов деятельности диктует необходимость обоснования количественных критериев напряженности трудового процесса с введением изменений в нормативные документы (Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» № 426-ФЗ от 28.12.2013 г. и методика ее проведения)⁵.

Напряженность труда в соответствии с Р 2.2.2006-05 определяется для составления санитарно-гигиенической характеристики труда работника при подозрении у него профессионального заболевания (Приказ Минздравсоцразвития № 103 от 10.11.2009 г.)⁶.

Определенные трудности представляет обоснование информативных физиологических показателей, позволяющих оценивать и контролировать уровни функционального состояния и классы условий труда (оптимальный, допустимый, вредный).

Имеющиеся в литературе данные показывают значение физической подготовленности в поддержании высокого уровня рабочих функций в процессе деятельности [2, 3]. Рядом авторов было установлено, что физическая подготовленность, которая определяется по величине общей физической работоспособности (ОФР), взаимосвязана со степенью развития утомления, т.е. с изменением функционального состояния ведущих систем организма работника⁷ [4–6]. У лиц с высоким уровнем ОФР изменения двигательных и вегетативных функций менее выражены по сравнению с таковыми у лиц, имеющих

¹ Гигиеническая классификация труда (по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса) / утв. заместителем главного государственного санитарного врача Министерства здравоохранения СССР А.И. Заиченко 12.08.1986 г. № 4137-86. – М., 1986. – 11 с.

² Р 2.2.013-94. Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса / утв. первым заместителем председателя Госкомсанэпиднадзора РФ 12.07.1994 г. – М., 1994. – 131 с.

³ Р 2.2.755-99. Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса / утв. главным государственным санитарным врачом РФ 23.04.1999 г. – М., 1999. – 140 с.

⁴ Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда // Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора. – М., 2005. – 142 с.

⁵ О специальной оценке условий труда: Федеральный закон от 28.12.2013 N 426-ФЗ [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/ (дата обращения: 03.03.2020).

⁶ Инструкция по составлению санитарно-гигиенической характеристики условий труда работника при подозрении у него профессионального заболевания: Приказ Минздравсоцразвития № 103 от 10.11.2009 [Электронный ресурс] // StandartGost. – URL: https://standartgost.ru/g/base/1/id0-54468/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%B7_103 (дата обращения: 03.03.2020).

⁷ Воздействие факторов трудового процесса / В.В. Матюхин, Э.Ф. Шардакова, О.И. Юшкова, В.В. Елизарова, Е.Г. Ямпольская, А.С. Порошенко, Л.П. Кузьмина // Энциклопедия «Экометрия». Воздействие на организм человека опасных и вредных производственных факторов. – М.: Издательство стандартов, 2004. – Т. 1. – С. 344–441.

низкий уровень ОФР. Л.В. Аболян, В.В. Матюхин с соавт. при изучении особенностей формирования функционального состояния у лиц ряда профессий выявили лучшее функциональное состояние нервно-мышечного аппарата, более совершенные приспособительные реакции и хорошие функциональные возможности сердечно-сосудистой системы у работников с «высоким» уровнем ОФР [7–10]. Предполагается, что показатель ОФР может быть использован наряду с другими физиологическими показателями для оценки уровней функционального состояния и контроля класса условий труда, установленного по эргометрическим характеристикам. Возможно, зависимость между физической подготовленностью и степенью функциональных изменений имеет место в определенном, как правило, среднем диапазоне ОФР. Интересным было проверить правильность этой гипотезы в другом диапазоне ОФР.

Цель работы – на примере современных видов труда обосновать и разработать информативные физиологические критерии, позволяющие оценивать и контролировать уровни функционального состояния и работоспособности, класс условий труда с учетом вида трудовой деятельности.

Материалы и методы. Для решения поставленных в настоящей работе задач был использован комплекс профессиографических, физиолого-эргономических и клинко-статистических методов исследования с целью изучения особенностей формирования функционального состояния организма работников при воздействии производственных факторов с учетом вида труда и нагрузок, что позволило подойти к обоснованию подходов к оценке напряженности труда.

Обследовались практически здоровые работники профессиональных групп, трудовая деятельность которых связана с физическими (мышечными) и нервно-эмоциональными нагрузками. Профессиографические и физиолого-эргономические исследования проведены на материале пяти профессиональных групп, состоящих из мужчин (операторы роботизированных технологических комплексов (РТК); операторы станков с числовым программным управлением (ЧПУ) на предприятиях машино- и станкостроения; строители-арматурщики; строители-монтажники, представленные трудовыми мигрантами из республик южных регионов; программисты на станках по обработке изделий из камня с ЧПУ), и двух групп женщин, занятых на Московском камнеобрабатывающем предприятии (оператор ЧПУ по обработке изделий из камня, оператор на шлифовальном станке с ЧПУ). Всего обследовано около 200 человек в возрасте $30,3 \pm 1,0$ г., со стажем $4,8 \pm 0,2$ г., работающих в утреннюю смену (три раза в течение рабочего дня).

Профессиографическая характеристика трудовой деятельности проводилась в соответствии с руководством Р 2.2. 2006-05. Для оценки функцио-

нального состояния нервно-мышечной системы проводили динамометрические измерения силы и выносливости мышц рук с последующим расчетом максимальной работоспособности (произведение удерживаемого усилия на длительность удержания). Физическую подготовленность определяли по уровню ОФР с помощью теста PWC 170 и с расчетом максимального потребления кислорода.

Исследования сердечно-сосудистой системы заключались в определении систолического и диастолического артериального давления ($АД_{\max}$, $АД_{\min}$) с последующим расчетом пульсового ($АД_{\text{пл}}$) и среднего динамического ($М\mu$) давлений, частоты сердечных сокращений, ударного и минутного объемов сердца (VO и MO), общего периферического сопротивления ($ПС$). АД регистрировали с помощью ртутного сфигмоманометра, показатели центральной гемодинамики определяли методом тетраполярной грудной реографии. В начале и в конце работы была использована проба на физическую нагрузку (велозергометр), мощность нагрузки (100 Вт) и умственную (сложение с переключением) нагрузку. Процесс восстановления записывался в течение 5 мин после физической и 3 мин после умственной нагрузок.

Исследование проведено в соответствии с Международным кодексом медицинской этики (1949) и положениями Хельсинкской декларации по доклиническим и клиническим исследованиям на людях и животных, принятой Всемирной медицинской ассоциацией (1964). До начала исследования все обследуемые были ознакомлены с методикой его проведения, сопутствующими рисками и подписали информированное добровольное согласие.

Использовались традиционные методы вариационной статистики: выявление различий между группами по средним значениям (по t -критерию Стьюдента), корреляционный анализ (по Пирсону). Данные обработаны при помощи статистического пакета Statistika 6.0⁸.

Результаты и их обсуждение. Тяжесть труда, обусловленная поддержанием вынужденной рабочей позы, выполнением большого количества глубоких наклонов корпуса, частая повторяемость однообразных движений руками и т.д., усугубляет неблагоприятные физиологические изменения в нервно-мышечной системе и опорно-двигательном аппарате. Это может быть причиной не только снижения работоспособности, но и развития перенапряжения и патологии указанных систем [11–13].

Оценка тяжести труда операторов станков с ЧПУ показала, что такие данные, как физическая динамическая нагрузка (выраженная в единицах внешней механической работы, кг·м), количество стереотипных рабочих движений, не выходят за пределы оптимальных величин. Однако операторы в процессе работы выполняют большое количество

⁸ Халафен А.А. STATISTICA-6. Статистический анализ данных. – 3-е изд. – М.: Бином-Пресс, 2007. – 512 с.

наклонов (более 200 за смену – 3.1 класс), до 80 % рабочего времени смены оператор находится в положении стоя (3.1 класс). Таким образом, в целом можно заключить, что труд оператора на шлифовальном станке с ЧПУ относится к 3-му классу 2-й степени тяжести работы, оператора станков ЧПУ по обработке изделий из камня, оператора станков ЧПУ машино- и станкостроения – к классу 3.1, программиста станков ЧПУ и оператора РТК – к допустимому 2-му классу.

Физиологические исследования включали изучение функционального состояния нервно-мышечной системы как профессионально значимой в обеспечении надежности работы изучаемых групп. Выявлено у работников снижение динамометрических показателей в динамике смены, особенно отчетливо проявляющееся к концу работы (табл. 1). При этом степень изменения показателя выносливости была обусловлена классом условий труда. Так, у операторов РТК показатель выносливости практически не изменялся на протяжении рабочей смены.

У программистов на станках с ЧПУ снижение выносливости составляло 20,4 %, у операторов по обработке изделий из камня на станке с ЧПУ – 26,4 %. С увеличением тяжести и напряженности работы снижение выносливости к концу смены увеличивалось до 31,0–33,0 % ($p \leq 0,05$), что превышает физиологические нормы напряжения организма при физическом труде (при региональных и общих мышечных нагрузках до 20 %) (см. табл. 1). Сила мышц рук в исследуемых группах практически не менялась, и, следовательно, изменения еще одного показателя функционального состояния нервно-мышечной системы – максимальной мышечной работоспособности – практически повторяют изменения выносливости.

Сравнение между собой двух типов оборудования (ЧПУ и РТК) на предприятиях машино- и станко-

строения показало, что при работе на станках с ЧПУ утомление мышц рук выражено больше, чем при обслуживании РТК. Показатели выносливости к статическому усилию и максимальной работоспособности мышц рук у операторов станков с ЧПУ достоверно снижались уже через 4 ч работы на 21,3 % ($p \leq 0,01$) и 21,6 % ($p \leq 0,05$) и к концу смены на 24,1 % ($p \leq 0,01$) и 21,6 % ($p \leq 0,05$) соответственно по сравнению с исходным уровнем. У группы операторов установлена незначительная отрицательная динамика динамометрических показателей, что может быть связано со значительными мышечными нагрузками при переносе деталей вручную, в то время как эту операцию на РТК выполняет робот-манипулятор.

Исследованиями показано, что при физическом труде независимо от характера мышечных нагрузок (региональные, общие) функциональное состояние и, соответственно, степень рабочего напряжения организма работающих находятся в тесной зависимости от величины ведущих факторов трудового процесса (показателей тяжести трудового процесса). При этом чрезмерно большие нагрузки вызывают очень раннее появление признаков утомления нервно-мышечной системы работающих. При большом стаже длительное выполнение подобной работы может приводить к перенапряжению нервно-мышечной системы и нередко к возникновению профессиональных заболеваний, причем с тем большей степенью вероятности, чем выше и интенсивнее в течение смены нагрузки на нервно-мышечный аппарат работающих [14–16]. Это убедительно подтверждено и результатами клинико-функциональных исследований. Установлено, что значительные систематические мышечные нагрузки играют потенциальную роль в развитии профессиональных заболеваний определенной этиологии. Частота распространенности профессиональных заболеваний скелетно-мышечной системы в зависимости от класса тяжести труда представлена на рис. 1.

Таблица 1

Изменение выносливости мышц рук к статическому усилию у обследуемых профессиональных групп в динамике смены, с

Профессиональная группа / класс условий труда по показателям тяжести труда	Показатель	Период исследования		
		начало смены	середина смены	конец смены
Оператор РТК на предприятиях машино- и станкостроения / класс 1	$M \pm m$	18,9 ± 1,1	18,1 ± 1,3	17,2 ± 1,7
	P	–	> 0,05	> 0,05
	%	100	95,7	91,0
Программист ЧПУ / класс 2	$M \pm m$	21,1 ± 1,4	18,3 ± 1,5	16,8 ± 1,4
	P	–	< 0,05	< 0,05
	%	100	86,7	79,6
Оператор ЧПУ по обработке изделий из камня / класс 3.1	$M \pm m$	20,1 ± 1,1	17,4 ± 1,3	14,8 ± 1,7
	P	–	> 0,05	< 0,05
	%	100	86,6	73,6
Оператор ЧПУ на предприятиях машино- и станкостроения / класс 3.1	$M \pm m$	19,0 ± 1,7	14,9 ± 1,8	14,4 ± 1,7
	P	–	< 0,05	< 0,001
	%	100	78,7	75,9
Оператор на шлифовальном станке с ЧПУ / класс 3.2	$M \pm m$	21,1 ± 1,7	17,2 ± 1,4	13,3 ± 1,6
	P	–	< 0,05	< 0,01
	%	100	82,0	69,0

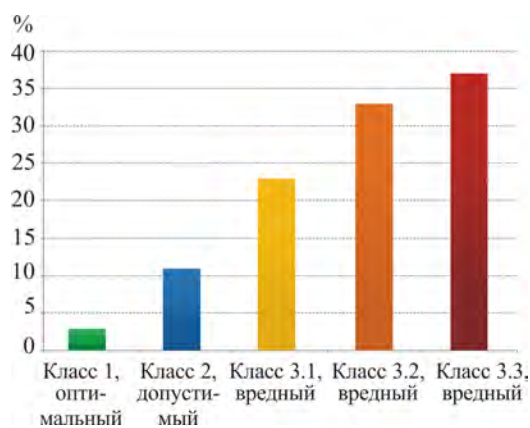


Рис. 1. Распространенность профессиональных заболеваний нервно-мышечной системы и опорно-двигательного аппарата в зависимости от класса тяжести труда, %

Высокий уровень физиологического напряжения нервно-мышечной системы при физическом труде общего характера потенциально значим в развитии болезней спины [17–20]. Установлено, что систематические общие мышечные нагрузки чаще всего вызывают поражение пояснично-крестцового отдела в виде хронической радикулопатии, нередко приводя к снижению профессиональной трудоспособности и социальной дезадаптации работающих.

Труд, связанный с повреждениями в области поясницы, широко распространен среди строительных работников [21, 22]. Даже в такой высокоразвитой стране, как Финляндия, несмотря на технологические достижения, до 20 % рабочих ежедневно сталкиваются с очень тяжелой физической нагрузкой [15]. Исследованиями состояния здоровья строителей-мигрантов из республик южных регионов показано, что с возрастанием стажа работы увеличивается число заболеваний опорно-двигательного аппарата, что связано с такими видами работ, как поднятие и перемещение тяжестей, работа в вынужденной рабочей позе и др. Распространенность таких заболеваний опорно-двигательного аппарата, как, например, полиостеоартрозы и полиартриты, снижается с увеличением стажа работы с 32,1 до 8,9 % (на 100 осмотренных), а дор-

сопатий – возрастает с 16,8 до 27,0 % при стаже работы 1–3 года, 7 лет и более соответственно. Это может быть обусловлено значительными физическими нагрузками у трудовых мигрантов.

Полученные результаты физиологических исследований позволяют считать достаточно информативным показатель выносливости мышц рук по отношению к статическому усилию для использования в качестве одного из критериев при оценке и контроле функционального состояния и класса условий труда при трудовой деятельности, когда ведущими нагрузками будут характеристики тяжести труда.

В связи с этим в табл. 2 представлено распределение отдельных физиологических показателей по классам (подклассам) условий труда при оценке напряженности трудового процесса при различных видах деятельности.

Изучение информативности другого физиологического показателя – общей физической работоспособности – у операторов станков с ЧПУ и операторов РТК показало, что данные группы имеют достоверные различия в данных ОФР и величинах максимального потребления кислорода. У лиц 1-й группы (операторов станков с ЧПУ) ОФР составляла в среднем $25,19 \pm 1,50$, у лиц 2-й группы (операторы РТК) – $17,99 \pm 0,80$ кг м/мин кг веса ($p \leq 0,01$), достоверные различия между группами в показателях максимального потребления кислорода сохранились ($p \leq 0,01$). Оценка физического состояния работников в соответствии с методическими рекомендациями⁹ позволяла установить уровень физической подготовленности у операторов, обслуживающих станки с ЧПУ, выше среднего (высокий) и ниже среднего (удовлетворительный) – у операторов РТК. Полученные различия, по-видимому, связаны с характером деятельности: более выраженным компонентом физического труда у операторов станков с ЧПУ по сравнению с работниками, обслуживающими РТК.

Результаты физиологических исследований показали, что функциональное состояние сердечно-сосудистой системы не изменялось к концу смены ни в одной из обследованных групп. В то же время результаты проведенных нагрузочных проб позволили выявить разнонаправленный характер сдвигов

Таблица 2

Распределение физиологических показателей у работников физического труда с региональными и общими нагрузками по классам (подклассам) условий труда с учетом гендерных различий

Региональные и общие нагрузки					
Физиологический показатель	Пол	Класс (подкласс) условий труда			
		оптимальный	допустимый	вредный	
		1	2	3.1	3.2
Выносливость мышц кисти к статическому усилию (% снижения к концу смены)	мужчины	$\leq 20,7$	23,8–26,8	26,9–29,9	30,0–33,0
	женщины	$\leq 21,9$	24,3–26,6	26,7–29,0	29,1–31,4

⁹ Методические рекомендации по оценке физиологических норм напряжения организма человека, с учетом гендерных различий, при различных видах трудовой деятельности (умственной, зрительно-напряженной, физической) / утв. 26.02.2015 Научным советом № 45 по мед.экол. проблемам здоровья работающих. – М., 2015.

у операторов различных групп. Анализ кривых УО показал в начале и в конце смены адекватную реакцию на физическую нагрузку у операторов РТК и реакцию с запаздыванием у операторов станков с ЧПУ. Причем в конце рабочего дня у операторов станков с ЧПУ после выполнения физических нагрузок не отмечалось восстановления показателей УО и МО на 3-й и 5-й мин ($p \leq 0,05$) и после умственной нагрузки на 3-й мин. Периферическое сопротивление в ответ на физическую нагрузку снижалось у лиц двух групп, однако восстановление показателя затягивалось у операторов станков с ЧПУ. У работающих на станках с ЧПУ выявлена более выраженная реакция на физическую нагрузку по показателям АД (макс., пульс, M_y). Как видно из данных рис. 2, в начале смены максимальное АД повышалось достоверно в большей степени у операторов станков с ЧПУ по сравнению с операторами РТК ($p \leq 0,05$). На первой минуте восстановления различия между группами существенны ($p \leq 0,05$), не происходит восстановления $АД_{\text{макс}}$ на 3-й и 5-й мин после выполнения

тестовой физической нагрузки и на 1-й и 3-й мин после умственной нагрузки в конце смены. Аналогичная динамика наблюдается и по показателям пульсового и среднего динамического давления (см. рис. 2).

Сопоставление полученных показателей МО и ПС с должными величинами свидетельствует, что в регуляции системного давления у операторов двух обследуемых групп преобладает гиперкинетический тип кровообращения¹⁰ [23, 24]. У операторов РТК имело место лучшее соотношение между МО и ПС (адекватное повышение и снижение ПС при физической нагрузке), направленное на оптимальную регуляцию системы кровообращения, в частности на адекватное повышение у них АД. В то же время у лиц другой группы (станки с ЧПУ) было установлено менее выраженное изменение МО и ПС со значительным подъемом АД в ответ на физическую нагрузку, что особенно проявлялось в конце смены. Это свидетельствует о более выраженном напряжении механизмов регуляции кровообращения у операторов станков с ЧПУ. Кроме того, у них более

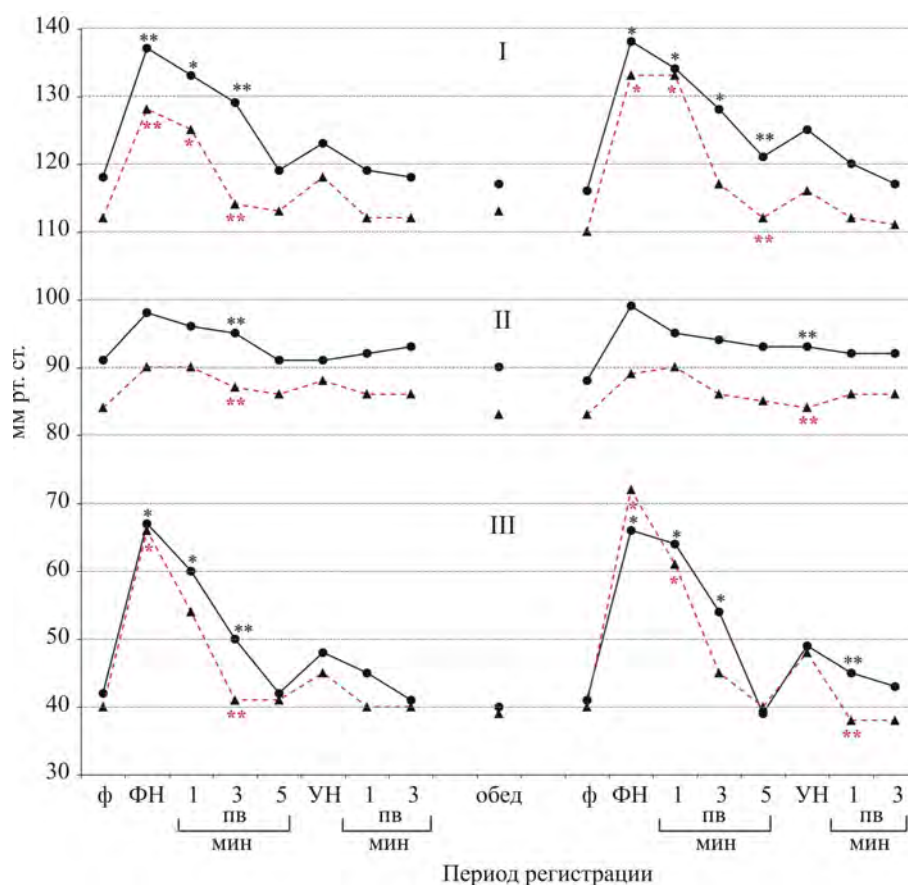


Рис. 2. Изменение показателей максимального (I), среднего динамического (II) и пульсового (III) артериального давления при выполнении тестовых нагрузок у операторов двух профессиональных групп.
Примечания: непрерывная линия с кругами – операторы станков с ЧПУ; пунктирная линия с треугольниками – операторы РТК; * – статистически достоверные различия с фоном; ** – статистически достоверные различия между группами; на оси ординат – показатели артериального давления (мм рт. ст.); на оси абсцисс – периоды регистрации (в минутах – восстановление АД после нагрузок); ф – фоновые измерения; пв – периоды восстановления; ФН – физическая нагрузка; УН – умственная нагрузка

¹⁰ Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы: справочник / под ред. Т.С. Виноградовой. – М.: Медицина, 1986. – 415 с.

Таблица 3

Вероятность развития случаев производственной патологии (%) в зависимости от степени тяжести трудового процесса и изменения физиологического показателя выносливости

Показатель	Тяжесть трудового процесса				
	класс 1, оптимальный (легкая физическая нагрузка)	класс 2, допустимый (средняя физическая нагрузка)	класс 3, вредный (тяжелый труд)		
			3.1	3.2	3.3
Уровни вероятности, %	0–0,6	6,1–17,0	17,1–28,0	28,1–37,0	Более 37,0
Выносливость мышц кисти к статическому усилию, % снижения к концу смены	Мужчины – менее 20,7	От 20,8 до 23,8	От 23,9 до 26,8	От 26,9 до 29,9	Более 30,0
	Женщины – менее 21,9	От 22,0 до 24,3	От 24,4 до 26,6	От 26,7 до 29,9	Более 31,4

выражено напряжение компенсаторных механизмов, которое нашло отражение в более высоких показателях среднего динамического давления, позднем восстановлении УО, МО, АД (макс., пульс., Му).

Обобщая вышеизложенное, следует отметить, что был установлен высокий уровень физической работоспособности у операторов станков с ЧПУ и более низкий у операторов РТК. В процессе деятельности для операторов станков с ЧПУ характерно выраженное напряжение нервно-мышечной системы, что приводило к ранним признакам (через 4 ч работы) развивающегося утомления мышц рук. Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы по данным нагрузочных проб в большей степени изменилось у работников станков с ЧПУ, имеющих отличный (выше среднего) уровень физической подготовленности, что расходится с общепринятым мнением. Известно, что наибольшее снижение функциональных возможностей основных систем организма отмечается у лиц с низким уровнем физической работоспособности. Для вскрытия физиологических механизмов этого явления, по-видимому, следует обратиться к закономерности, установленной Л.В. Абольяном [7]. В исследовании показано, что зависимость между уровнем физической подготовленности и степенью функциональных изменений ведущих систем организма работающих имеет место в определенном, как правило среднем, диапазоне значений общей физической работоспособности. При «высоком» уровне ОФР, характерном для операторов станков с ЧПУ, эта зависимость, вероятно, нарушается. Потребуются дополнительные исследования для уточнения данной закономерности и научного обоснования возможности включения показателя ОФР в качестве физиологического показателя, позволяющего проводить оценку и контроль функционального состояния и класс условий труда с учетом вида трудовой деятельности.

Результаты исследований показали, что тяжесть труда классифицируется по изменению выносливости мышц рук. Этот показатель выносливости определяется по снижению за смену в % к исходной величине. Распределение физиологических показателей у работников физического труда с региональными и общими нагрузками по классам (подклассам) условий труда (с учетом гендерных различий) позволяет оценить риски нарушений их здоровья. Проведенный расчет зависимости частоты случаев (ретроспектив-

ный анализ 2318 случаев) профессиональных заболеваний от класса тяжести трудового процесса при мышечной нагрузке регионального и общего характера позволил определить уравнение регрессии и представить полученные результаты в табл. 3.

Полученными результатами показано, что чем выше величина снижения выносливости, тем больше профессиональный риск развития указанной патологии. Наибольшая вероятность нарушений здоровья выявляется при вредном 3-м классе 3-й степени и составляет более 37 % при снижении выносливости к концу работы на 30 % у мужчин и на 31,4 % у женщин. В этой связи прогнозирование вероятности развития профессиональной патологии в зависимости от класса тяжести труда можно проводить по величине выносливости мышц кисти к статическому усилию.

Выводы:

1. Установлено при обследовании многих профессиональных групп, выполняющих физическую и нервно-напряженную работу, что факторы трудового процесса нередко превышают допустимые величины для большинства профессий независимо от вида нагрузки. Длительное воздействие неблагоприятных факторов, обуславливающих тяжесть и напряженность трудового процесса, оказывает существенное влияние на функциональное состояние организма работников, особенно на состояние нервно-мышечной системы.

2. Воздействие интенсивных и длительных по времени факторов трудового процесса, превышающих допустимые уровни (3-й класс 1–2-й степени), приводит к развитию перенапряжения у большинства работников, которое проявляется существенными изменениями физиологических показателей с учетом гендерных различий.

3. При региональных и общих мышечных нагрузках у работников физического труда наблюдалась высокая взаимосвязь выносливости мышц кисти к статическому усилию (% снижения к концу смены) с классом условий труда. Это позволило рекомендовать данный показатель для контроля уровня функционального состояния и работоспособности с учетом вида трудовой деятельности и гендерных различий.

4. Повреждения в области поясницы как следствие условий труда (поднятие и перемещение тяжестей, работа в вынужденной рабочей позе и др.)

широко распространено среди строительных работников, в том числе среди строителей-мигрантов из Республик Южных регионов. Со стажем работы число заболеваний опорно-двигательного аппарата возрастает.

5. Установлен высокий уровень физической подготовленности (по показателю ОФР) у операторов станков с ЧПУ и удовлетворительный у операторов РТК. У работников с высоким уровнем ОФР отмечены более высокие функциональные возможности нервно-мышечной системы и выраженное напряжение механизмов регуляции системы кровообращения при выполнении тестовых нагрузок.

6. Требуется дополнительные исследования и анализ полученных данных для выявления взаимосимости между высоким уровнем физической подготовленности и функциональным состоянием организма, возможности использования показателя ОФР в качестве критерия оценки уровня функционально-

го состояния и класса условий труда с учетом вида трудовой деятельности.

7. Результаты исследований установлена возможность прогнозирования развития профессиональных заболеваний у работников физического труда по физиологическому показателю выносливости мышц кисти к статическому усилию. Чем выше величина снижения выносливости, тем больше вероятность развития указанной патологии. Распределение физиологических показателей у работников физического труда с региональными и общими нагрузками по классам (подклассам) условий труда (с учетом гендерных различий) позволяет оценить риски нарушений здоровья у работников.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Список литературы

1. Васильева А.В., Горшков С.И., Грицевский М.А. Физиологические и гигиенические вопросы режимов труда и отдыха в промышленности // Режимы труда и отдыха и графики сменности в ведущих отраслях промышленности: материалы симпозиума / под ред. В.В. Кулемина. – М. – Иваново, 1970. – 177 с.
2. Совершенствование критериев оценки перенапряжения и гармонизация стандартов физической работоспособности у работников современных форм труда / В.В. Матюхин, И.В. Бухтияров, О.И. Юшкова, Э.Ф. Шардакова, С.А. Калинина, В.В. Елизарова, Е.Г. Ямпольская, А.С. Порошенко // Актуальные проблемы медицины труда: сборник трудов института / под ред. И.В. Бухтиярова. – М.: Мелга, 2015. – С. 38–90.
3. Методы исследования и фармакологической коррекции физической работоспособности человека / Л.А. Гринин, А.А. Ихалайнен, А.В. Богомолов, А.Л. Ковтун, Ю.А. Кукушкин / под ред. И.Б. Ушакова. – М.: Медицина, 2007. – 104 с.
4. Changes in job strain in relation to changes in physiological state / T. Theorell, A. Perski, T. Akerstedt, F. Sigala, G. Ahlberg-Hultén, J. Svensson, P. Eneroth // Scand. J. Work Environ. Health. – 2013. – Vol. 14, № 3. – P. 189–196. DOI: 10.5271/sjweh.1932
5. Анищенко В.С., Кислицын Ю.Л., Пермяков И.А. Мониторинг резервов физической работоспособности здоровья студентов // Успехи и перспективы физиологии труда в третьем тысячелетии: материалы конференции. – М., 2001. – С. 25–27.
6. Косорогова Н.С., Решетенко И.Н., Булавина М.В. Оценка работоспособности у работников, занятых тяжелым физическим трудом // Профессиональное здоровье и трудовое долголетие: материалы международной научно-практической конференции. – Шахты, 2018. – С. 94–95.
7. Абольян Л.В. Значение уровня общей физической работоспособности в развитии утомления работающих в условиях профессиональной гипокинезии // Гигиена труда и профессиональные заболевания. – 1982. – № 10. – С. 14–18.
8. Роль физиологии труда в сохранении работоспособности и здоровья у работников различных видов трудовой деятельности. Достижения и перспективы развития / В.В. Матюхин, И.В. Бухтияров, О.И. Юшкова, Э.Ф. Шардакова, Е.Г. Ямпольская, В.В. Елизарова, А.С. Порошенко, А.В. Капустина [и др.] // Медицина труда и промышленная экология. – 2013. – № 6. – С. 19–24.
9. Ямпольская Е.Г., Шардакова Э.Ф., Елизарова В.В. Изучение взаимосвязи уровня общей физической работоспособности и показателей заболеваемости // Психофизиологические аспекты трудовой деятельности: всероссийский сборник научных статей. – Тверь, 2002. – С. 43–49.
10. Факторы риска в развитии функциональных нарушений у работников физического труда / В.В. Матюхин, В.В. Елизарова, Э.Ф. Шардакова, Е.Г. Ямпольская // Медицина труда и промышленная экология. – 2009. – № 6. – С. 1–6.
11. Физиологическая оценка физических и нервно-психических перегрузок в медицине труда / Э.Ф. Шардакова, О.И. Юшкова, В.В. Елизарова, Г.Н. Лагутина // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. – 2018. – № 3. – С. 7–20.
12. Данилов А.Н., Безрукова Г.А., Новикова Т.А. Тяжесть трудового процесса как детерминанта профессионального риска здоровью работников сельского хозяйства // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 9. – С. 59.
13. Меркулова А.Г., Калинина С.А., Богданова В.Е. Динамическое исследование нервно-мышечной системы станочников моторостроительного завода // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 695–696.
14. Estimating the global burden of low back pain attributable to combined occupational exposures / L. Punnett, A. Prüss-Ustün, D. Imel Nelson, M.A. Fingerhut, J. Leigh, S.W. Tak, S. Phillips // Am. J. Ind. Med. – 2005. – Vol. 48. – P. 459–469. DOI: 10.1002/ajim.20232
15. Bruce P., Bernard M.D. Musculoskeletal disorders and workplace factors: A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity and low back. – U.S. Department of health and human services Public Health Service Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health, 1997. – P. 590.
16. Physical risk factors for neck pain / G.A. Ariëns, W. Van Mechelen, P.M. Bongers, L.M. Bouter, G. Van der Wal // Scandinavian Journal of Work, Environment & Health. – 2000. – Vol. 26, № 1. – P. 17–19. DOI: 10.5271/sjweh.504
17. Musculoskeletal disorders and the workplace: Low Back and Upper Extremities. National Research Council and the Institute of Medicine. – Washington, 2001. – P. 492. DOI: 10.17226/10032
18. Haakkanen M., Viikari-Juntura E., Martikainen R. Incidence of muscular-skeletal disorders among newly employed manufacturing workers // Scand. J. Work Environ Health. – 2001. – Vol. 27, № 6. – P. 381–387. DOI: 10.5271/sjweh.630

19. Heliovaara M. Work load and back pain // Scand. J. Work Environ Health. – 1999. – Vol. 25, № 5. – P. 385–386. DOI: 10.5271/sjweh.450
20. Максименко Л.В., Яковенко И.А. Риск развития боли в спине у работающих в стоматологии // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 9. – С. 118.
21. Ходжиев М., Шардакова Э.Ф., Елизарова В.В. Оценка функционального состояния трудовых мигрантов, занятых на строительных работах // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 9. – С. 207.
22. Комплексная физиолого-гигиеническая оценка труда работников ведущих профессиональных групп при современных технологиях строительства / Л.В. Прокопенко, Э.Ф. Шардакова, Е.Г. Ямпольская, В.В. Елизарова, А.В. Лагутина // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. – 2014. – № 1. – С. 65–74.
23. Ходжиев М. Гемодинамические характеристика и адаптационные возможности организма студентов-первокурсников // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. – 2016. – № 3. – С. 18–27.
24. Цфасман А.З., Алпаев Д.В. Циркадная ритмика артериального давления при измененном суточном ритме жизни. – М.: Репроцентр, 2011. – 144 с.

Физиологические критерии в совершенствовании классификации напряженности труда для задач оценки профессионального риска / И.В. Бухтияров, О.И. Юшкова, М. Ходжиев, А.В. Капустина, А.Ю. Форвертс // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 90–99. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.09

UDC 613.644:612.842.5

DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.09.eng



Research article

PHYSIOLOGICAL CRITERIA FOR IMPROVING LABOR INTENSITY CLASSIFICATION USED IN OCCUPATIONAL RISKS ASSESSMENT

I.V. Bukhtiyarov, O.I. Yushkova, M. Khodzhiev, A.V. Kapustina, A.Yu. Forverts

Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31 Budennogo Ave., 105275, Moscow, Russian Federation

The paper focuses on results of substantiating and selecting informative physiological criteria that can be used for assessing and controlling functional state and working conditions category taking into account physical and nervous-emotional loads borne by CNC- machinery operators. Basing on complex physiological and ergonomic studies and retrospective data analysis, we showed that workers from various occupational groups who dealt with physical labor had to face certain strain over a working shift. Such strains, given long-term working experience, could result in neuromuscular system overstrain and occupational diseases occurrence.

We substantiated and developed informative physiological criteria that allowed assessing and controlling functional state and working capacity as well as working conditions category taking into account occupational activities.

The present research involved using a set of occupational studies, physiological and ergonomic procedures as well as clinical and statistic ones for examining peculiarities related to functional state of workers' bodies under exposure to occupational factors taking into account specific working tasks and loads. It allowed us to substantiate labor intensity assessment.

Our research results revealed that there was a strong correlation between hand muscles endurance to static exertion (decrease in % by the end of a work shift) and working conditions category given local and overall muscular loads borne by workers. This criterion is recommended for control over functional state and working capacity taking into account occupational peculiarities and gender-related differences. It is necessary to accumulate scientific data for confirming a similar correlation between overall physical working capacity (OPWC) and working conditions category. Results obtained via physiological research were used for developing prevention activities for workers.

Key words: physiological criteria, classification, labor intensity, physical and nervous and emotional loads, working conditions category, functional state, overstrain, prevention.

© Bukhtiyarov I.V., Yushkova O.I., Khodzhiev M., Kapustina A.V., Forverts A.Yu., 2021

Igor V. Bukhtiyarov – Doctor of Medical Science, Director, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (e-mail: ivdukhtiyarov@mail.ru; tel.: +7 (495) 365-02-09; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8317-2718>).

Olga I. Yushkova – Doctor of Medical Science, Professor, Chief researcher at the Laboratory for Labor Physiology and Preventive Ergonomics (e-mail: doktorolga@inbox.ru; tel.: +7 (916) 541-20-48; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6704-3537>).

Makhmadamin Khodzhiev – Candidate of Medical Science, Doctoral student (e-mail: amin.dok59@mail.ru; tel.: +7 (968) 585-12-95; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5116-2486>).

Angelina V. Kapustina – Candidate of Biological Science, Senior researcher at the Laboratory for Labor Physiology and Preventive Ergonomics (e-mail: ft-matuhin@mail.ru; tel.: +7 (903) 542-45-74; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8631-0074>).

Anna Yu. Forverts – Junior researcher at the Laboratory for Labor Physiology and Preventive Ergonomics, post-graduate students (e-mail: agniia.forverts@gmail.com; tel.: +7 (903) 201-17-82; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3485-5221>).

References

1. Vasil'eva A.V., Gorshkov S.I., Gritsevskii M.A. Fiziologicheskie i gigenicheskie voprosy rezhimov truda i otdykha v promyshlennosti [Physiological and hygienic issues related to work and leisure regimes in industry]. *Rezhimy truda i otdykha i grafiki smennosti v vedushchikh otraslyakh promyshlennosti: Materialy simpoziuma*. In: V.V. Kulemin ed. Moskva – Ivanovo, 1970, 177 p. (in Russian).
2. Matyukhin V.V., Bukhtiyarov I.V., Yushkova O.I., Shardakova E.F., Kalinina S.A., Elizarova V.V., Yampol'skaya E.G., Poroshenko A.S. Sovershenstvovanie kriteriev otsenki perenapryazheniya i garmonizatsiya standartov fizicheskoi rabotosposobnosti u rabotnikov sovremennykh form truda [Developing criteria for assessing overstrain and harmonizing standards for physical working capacity in workers employed in contemporary working conditions]. *Aktual'nye problemy meditsiny truda: sbornik trudov instituta*. In: I.V. Bukhtiyarov ed. Moscow, OOO «Melga» Publ., 2015, pp. 38–90 (in Russian).
3. Gridin L.A., Ikhalaian A.A., Bogomolov A.V., Kovtun A.L., Kukushkin Yu.A. Metody issledovaniya i farmakologicheskoi korraktsii fizicheskoi rabotosposobnosti cheloveka [Research procedures and procedures for pharmacological correction of human working capacity]. In: I.B. Ushakov ed. Moscow, Meditsina Publ., 2007, 104 p. (in Russian).
4. Theorell T., Perski A., Akerstedt T., Sigala F., Ahlberg-Hultén G., Svensson J., Eneroth P. Changes in job strain in relation to changes in physiological state. *Scand. J. Work Environ. Health*, 2013, vol. 14, no. 3, pp. 189–196. DOI: 10.5271/sjweh.1932
5. Anishchenko V.S., Kislytsyn Yu.L., Permyakov I.A. Monitoring rezervov fizicheskoi rabotosposobnosti zdorov'ya studentov [Monitoring over reserves of students' health and its physical working capacity]. *Uspekhi i perspektivy fiziologii truda v tret'em tysyacheletii: materialy konferentsii*. Moscow, 2001, pp. 25–27 (in Russian).
6. Kosorotova N.S., Reshetenko I.N., Bulavina M.V. Otsenka rabotosposobnosti u rabotnikov, zanyatykh tyazhelym fizicheskim trudom. *Professional'noe zdorov'e i trudovoe dolgoletie: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Shakhly, 2018, pp. 94–95 (in Russian).
7. Abol'yan L.V. Znachenie urovnya obshchei fizicheskoi rabotosposobnosti v razvitii utomleniya rabotayushchikh v usloviyakh professional'noi gipokinezii [Importance of overall physical working capacity and developing fatigue among workers under exposure to occupational hypokinesia]. *Gigiena truda i professional'nye zabolevaniya*, 1982, no. 10, pp. 14–18 (in Russian).
8. Matyukhin V.V., Bukhtiyarov I.V., Yushkova O.I., Shardakova E.F., Yampol'skaya E.G., Elizarova V.V., Poroshenko A.S., Kapustina A.V. [et al.]. Labor physiology role in workers of different type labor activity workability and health. Progress and prospects. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2013, no. 6, pp. 19–24 (in Russian).
9. Yampol'skaya E.G., Shardakova E.F., Elizarova V.V. Izuchenie vzaimosvyazi urovnya obshchei fizicheskoi rabotosposobnosti i pokazatelei zabolevaemosti [Examining a correlation between overall physical working capacity and morbidity]. *Psikho-fiziologicheskie aspekty trudovoi deyatel'nosti: vserossiiskii sbornik nauchnykh statei*. Tver', 2002, pp. 43–49 (in Russian).
10. Matyukhin V.V., Elizarova V.V., Shardakova E.F., Yampol'skaya E.G. Risk factors of functional disorders in mental workers. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2009, no. 6, pp. 1–6 (in Russian).
11. Shardakova E.F., Yushkova O.I., Elizarova V.V., Lagutina G.N. Physiological evaluation of physical and nervous-mental overloads in medicine of labor. *Vestnik Tverskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya*, 2018, no. 3, pp. 7–20 (in Russian).
12. Danilov A.N., Bezrukova G.A., Novikova T.A. Work hardness as a determinant of occupational health risk in agricultural workers. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 9, pp. 59 (in Russian).
13. Merkulova A.G., Kalinina S.A., Bogdanova V.E. Dynamic study of the nervous muscular system of machine operator at the engine make. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 695–696 (in Russian).
14. Punnett L., Prüss-Ustün A., Imel Nelson D., Fingerhut M.A., Leigh J., Tak S.W., Phillips S. Estimating the global burden of low back pain attributable to combined occupational exposures. *Am. J. Ind. Med.*, 2005, vol. 48, pp. 459–469. DOI: 10.1002/ajim.20232
15. Bruce P., Bernard M.D. Musculoskeletal disorders and workplace factors: A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity and low back. U.S.A.: U.S. Department of health and human services Public Health Service Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health Publ., 1997, 590 p.
16. Ariëns G.A., Van Mechelen W., Bongers P.M., Bouter L.M., Van der Wal G. Physical risk factors for neck pain. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 2000, vol. 26, no. 1, pp. 17–19. DOI: 10.5271/sjweh.504
17. Musculoskeletal disorders and the workplace: Low Back and Upper Extremities. National Research Council and the Institute of Medicine. Washington, 2001, pp. 492. DOI: 10.17226/10032
18. Haakkanen M., Viikari-Juntura E., Martikainen R. Incidence of muscular-skeletal disorders among newly employed manufacturing workers. *Scand. J. Work Environ Health*, 2001, vol. 27, no. 6, pp. 381–387. DOI: 10.5271/sjweh.630
19. Heliovaara M. Work load and back pain. *Scand. J. Work Environ Health*, 1999, vol. 25, no. 5, pp. 385–386. DOI: 10.5271/sjweh.450
20. Maksimenko L.V., Yakovenko I.A. Backache risk in dentistry workers. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 9, pp. 118 (in Russian).
21. Khodzhiyev M., Shardakova E.F., Elizarova V.V. Assessing functional state of labor migrants engaged into construction works. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 9, pp. 207 (in Russian).
22. Prokopenko L.V., Shardakova E.F., Yampol'skaya E.G., Elizarova V.V., Lagutina A.V. Integrated physiological-hygienic evaluation of labor in leading professional groups under modern technologies of constructing activities. *Vestnik Tverskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya*, 2014, no. 1, pp. 65–74 (in Russian).
23. Khodzhiyev M. Cardiovascular features and adaptable opportunities of the first course university students organism. *Vestnik Tverskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya*, 2016, no. 3, pp. 18–27 (in Russian).
24. Tsfasman A.Z., Alpaev D.V. Tsirkadnaya ritmika arterial'nogo davleniya pri izmenennom sutochnom ritme zhizni [Circadian rhythms of blood pressure in case daily rhythms have been changed]. Moscow, Reprintsentr Publ., 2011, 144 p. (in Russian).

Bukhtiyarov I.V., Yushkova O.I., Khodzhiyev M., Kapustina A.V., Forverts A.Yu. Physiological criteria for improving labor intensity classification used in occupational risks assessment. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 90–99. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.09.eng

Получена: 18.01.2021

Принята: 07.02.2021

Опубликована: 30.03.2021



Научная статья

ГИПЕРТОНΙΑ УГОЛЬНЫХ РАБОЧИХ В ИНДОНЕЗИИ, СВЯЗАННАЯ С РОДИТЕЛЬСКОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ

Курния Ардиансыях Акбар

Университет Джембер, Индонезия, 68121, Восточная Ява, Джембер Ридженси, Самберсари, Краян Тимур, Джалан Калимантан, № 42

Распространенность хронической гипертензии среди населения Индонезии увеличилась с 2013 по 2018 г.: в 2013 г. распространенность артериальной гипертензии составила 25,8 %, а к 2018 г. возросла до 34,1 %. Следовательно, для контроля гипертензии необходимо участие всех заинтересованных сторон: врачей, медицинских работников из различных областей специализации по гипертензии, правительства, частного сектора и общественности.

Одной из сторон, уполномоченных участвовать в профилактике гипертензии в Индонезии, является бизнес. Угледобывающая промышленность традиционно формирует в стране большое количество рабочих мест. Данное исследование направлено на изучение вклада гипертензии у родителей в риск возникновения заболеваемости гипертензией у рабочих, занятых в угольной промышленности.

Методом являлось перекрестное исследование с двумя переменными: наличием гипертензии у родителей и гипертензии собственно у работника. Выборка составила 360 работников угольной промышленности. Результаты показали, что если у отца в анамнезе была гипертензия, риск развития гипертензии у шахтеров был высок: $OR = 3,143$; 95 % ДИ ($1,568 < OR < 6,229$). Риск возникновения заболевания у рабочих в случае гипертензии у матери в анамнезе характеризовался величиной $OR = 6,519$; 95 % ДИ ($3,267 < OR < 13,008$). Если у родителей в анамнезе была гипертензия, риск заболеваемости гипертензией у рабочих угольных шахт был значительным: $OR = 6,061$; 95 % ДИ ($2,910 < OR < 12,625$). Полученные результаты доказательно свидетельствовали о том, что наследственные или генетические факторы играют роль в повышенном риске гипертензии у шахтеров.

Ключевые слова: рабочий, добыча угля, горняк, гипертензия, риск гипертензии, родительская гипертензия, гипертензия у рабочих, гипертензия у шахтеров, гипертензия в Индонезии.

Гипертензия является хроническим заболеванием, когда повышенное систолическое давление превышает 140 мм рт. ст., диастолическое давление – 90 мм рт. ст., и оба результата получены с пятиминутным интервалом в состоянии полного покоя [1–3]. По данным Отчета о фундаментальных исследованиях в области здравоохранения¹, распространенность гипертензии, основанная на результатах измерений среди 18-летнего населения, составила 34,1 %, самая высокая была в Южном Калимантане (44,1 %), а самая низкая – в Папуа (22,2 %). Гипертензия встречается в возрастных группах: 31–44 года – 31,6 %, 45–54 года – 45,3 % и 55–64 года – 55,2 %. Распространенность гипертензии среди взрослого населения Индонезии в 2013 г. составила 25,8 %, но к 2018 г. эта цифра возросла до 34,1 % [4]. Если давление повышено в течение длительного периода времени, гипертензия вовремя не обнаружена и пациент не получил адекватного лечения, это может привести

к повреждению почек, головного мозга (инсульт) и сердца. Количество пациентов, страдающих от гипертензии, но не контролирующих свое кровяное давление, постоянно увеличивается [5, 6]. Поэтому для контроля над заболеванием необходимо участие всех заинтересованных сторон – врачей разной специализации, правительства, частного сектора и общества в целом [7].

Одной из сторон, участие которой необходимо для предотвращения распространения гипертензии в Индонезии, является бизнес. Добыча угля – это один из секторов экономики, в котором занято большое количество рабочих и, более того, отмечается ежегодный рост рабочих мест. Добыча угля в Индонезии – трудозатратный и капиталоемкий бизнес [8]. Отличительной чертой угольной компании являются поселения для работников, расположенные вблизи шахт. В таких поселениях обычно есть все необходимое для проживания – дома, столовые, спорт-

© Курния Ардиансыях Акбар, 2021

Курния Ардиансыях Акбар – магистр гигиены и безопасности труда, доцент факультета общественного здоровья (e-mail: ardiansyah_akbar@unej.ac.id; тел.: +62-85746757111; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6265-3064>).

¹ Hasil Utama Riskesdas. Laporan Hasil Riset Kesehatan Dasar. – Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2018. – 220 p.

ные площадки, места для моления и т.д. Подобные поселения возникли вследствие того, что рабочие вынуждены находиться на шахте в течение всей вахты, которая длится от двух до пяти недель [9, 10].

Подобная система работы, требующая проживания работника вблизи шахты, приводит к тому, что вся его деятельность, включая работу, отдых, питание, занятия спортом и создание семьи, происходит на одной и той же территории. Риск возникновения гипертонии у рабочих появляется в том случае, если их образ жизни, включая работу, отдых, питание и физические упражнения, не может считаться здоровым. Этот риск увеличивается, если родители работника имеют гипертонию в анамнезе. Исследования, проведенные с участием широких групп населения на Шри-Ланке, показали, что распространенность гипертонии возрастает на 29,3 %, если заболевание присутствует в анамнезе у родителей [11].

Цель исследования – изучение влияния, оказываемого гипертонией в анамнезе у родителей, на риск заболеваемости гипертонией у работников угольных шахт.

Материалы и методы. Осуществлено перекрестное исследование, которое включало две переменные: гипертонию в анамнезе у родителей и гипертонию у работников угольных шахт. В исследовании были использованы первичные данные, полученные посредством опросов и измерения кровяного давления респондентов. Данные о гипертонии в анамнезе у родителей были получены с помощью вопросника, который заполняли респонденты, а данные о наличии гипертонии у работников – путем прямого измерения кровяного давления респондентов с помощью калиброванного ртутного сфигмоманометра. Измерение давления выполнялось на руке респондента квалифицированным медицинским персоналом в местной клинике [12].

Результаты измерения давления были систематизированы (табл. 1) в соответствии с классификацией гипертонии согласно JNC VII 2003 (Объединенный национальный комитет по профилактике, оценке, выявлению и лечению АГ) [12, 13].

Исследование кровяного давления включено в общее медицинское обследование, проводимое в рамках ежегодных/периодических медосмотров работников согласно Приказу министра труда и миграции Республики Индонезия № Per. 02/MEN/1980² о медицинских осмотрах рабочей силы, предусмотренных соблюдением правил безопасности труда.

К участию в нашем исследовании были привлечены рабочие угольных шахт, расположенных в Ка-

лимантане, Индонезия. Выборка включала 360 шахтеров. Рабочие включались в выборку согласно следующим критериям: мужской пол, опыт работы более года, рабочее место – угольная шахта. Эти критерии призваны помочь избежать неточностей при исследовании.

Респонденты были отобраны посредством процедуры кластерной случайной выборки. Данные обработаны с помощью двумерного анализа с использованием непараметрического критерия.

Результаты и их обсуждение. В исследовании получены результаты, представленные в табл. 2.

Данные табл. 2 показывают, что при обследовании гипертония была выявлена у 40 из 360 рабочих, включенных в выборку, и не выявлена – у 320. С помощью опроса получены сведения, что у отцов 72 работников была гипертония в анамнезе, а у отцов оставшихся 288 – не было.

На основании данных, приведенных в табл. 2, можно сделать вывод, что существует взаимосвязь между гипертонией у родителя и гипертонией у работника угольной шахты при $p = 0,001 < \alpha = 0,05$. Риск заболевания гипертонией для работника, у отца которого есть в анамнезе это заболевание, повышается в 3,143 раза, так как ОШ = 3,143; 95 % ДИ (1,568 < ОШ < 6,229).

Полученные данные показывают, что при обследовании гипертония была выявлена у 40 из 360 рабочих, включенных в выборку, и не была выявлена у 320. С помощью опроса мы выявили, что у матерей 78 работников была гипертония в анамнезе, а у матерей оставшихся 282 – не было.

На основании данных, приведенных табл. 2, можно сделать вывод, что существует взаимосвязь между гипертонией у родителя и гипертонией у работника при $p = 0,000 < \alpha = 0,05$. Риск заболевания гипертонией для работника, у матери которого есть в анамнезе это заболевание, повышается в 6,519 раза: ОШ = 6,519; 95 % ДИ (3,267 < ОШ < 13,008).

Таблица 1

Классификация кровяного давления у взрослых

Категория	Систолическое / СКД, мм рт. ст.		Диастолическое / ДКД, мм рт. ст.
Нормальное	< 120	И	< 80
Прегипертония	120–139	Или	80–89
Гипертония			
Стадия 1	140–159	Или	90–99
Стадия 2	>160	Или	> 100

Примечание: адаптировано по JNC VII, 2003.

² Regulation of the Minister of Manpower and Transmigration of the Republic of Indonesia No. Per.02 / MEN / 1980 [Электронный ресурс] // International Labour Organization. – URL: http://www.ilo.org/dyn/natlex/natlex4.listResults?p_lang=en&p_country=IDN&p_first=501&p_pagelength=100 (дата обращения: 03.08.2020).

Гипертония в анамнезе у отца, матери и обоих родителей и ее влияние на риск гипертонии у работников угольных шахт

Параметр		Гипертония		Итого	p	ОШ
		не выявлена	выявлена			
Анамнез отца						
Гипертония у работников угольных шахт	Не выявлена	264	56	320	0,001	3,143
	Выявлена	24	16	40		
Итого		288	72	360		
Анамнез матери						
Гипертония у работников угольных шахт	Не выявлена	265	55	320	0,000	6,519
	Выявлена	17	23	40		
Итого		282	78	360		
Анамнез родителей						
Гипертония у работников угольных шахт	Не выявлена	223	97	320	0,000	6,061
	Выявлена	11	29	40		
Итого		234	126	360		

Источник: первичные данные.

Также в табл. 2 показано, что при обследовании гипертония была выявлена у 40 из 360 рабочих, включенных в выборку, и не была выявлена у 320. С помощью опроса мы выявили, что у родителей 126 работников (у отца или матери, или у обоих) была гипертония в анамнезе, а у родителей оставшихся 234 – не было.

На основании данных, приведенных в табл. 2, можно сделать вывод, что существует взаимосвязь между гипертонией у родителей и гипертонией у работника при $p = 0,000 < \alpha = 0,05$. Риск заболевания гипертонией для работника, у родителей которого она есть в анамнезе, повышается в 6,061 раза, ОШ = 6,061; 95 % CI (2,910 < OR < 12,625).

На основании результатов, полученных в данном исследовании, можно обсудить три основных пункта, включая влияние, оказываемое на риск заболеваемости гипертонией для работников угольных шахт, гипертонией в анамнезе у отца, матери, или обоих родителей.

Исследование показало, что количество случаев гипертонии выше среди людей старшего поколения (126), чем среди работников угольных шахт (40), чей возраст варьируется от 18 до 56 лет. Это соответствует результатам ранее проведенных исследований, в которых было обнаружено, что гипертония более распространена среди старшего поколения, особенно среди людей старше 60 лет; ее распространенность в данной возрастной группе составляет 60–80 % [14, 15]. В другом исследовании, проведенном в Сан-Пауло, выявлено, что распространенность гипертонии среди старших групп населения составляла 70 % от общего количества участников [16]. Исследования, проведенные в Китае, также помогли установить, что гипертония встречается у 53 % людей из старших возрастных групп [17].

Результаты исследования выявили взаимосвязь между гипертонией в анамнезе отца, матери или обоих родителей и заболеваемостью гипертонией

среди работников угольных шахт. Взаимосвязь между гипертонией у родителей и у работника показывает, что генетическая гипертония может быть унаследована как от отца или матери, так и от обоих родителей. Согласно проведенным исследованиям, если оба родителя страдают от гипертонии, она будет передана потомству примерно в 45 % случаев, а если гипертонией страдает один из родителей, она передается по наследству в 30 % случаев [18, 19].

В нашем исследовании отношение шансов (ОШ) было рассчитано для каждой зависимости между переменными. ОШ = 3,143, рассчитанное для гипертонии в анамнезе у отца, означает, что если отец страдает гипертонией, риск заболеваемости ею для работника угольной шахты возрастает в 3,143 раза. ОШ, рассчитанное для гипертонии в анамнезе у матери, равно 6,519. Это означает, что если мать страдает от гипертонии, риск заболеваемости ею для работника угольной шахты возрастает в 6,519 раза. ОШ, рассчитанное для гипертонии в анамнезе у родителей, равно 6,016. Это означает, что если родители страдают от гипертонии, риск заболеваемости ею для работника угольной шахты возрастает в 6,016 раза.

Полученные результаты не противоречат данным ранее проведенных исследований. Так, целью исследования [20] было определение распространенности гипертонии и детерминант ее возникновения среди пожилых людей. Данное исследование является количественным и осуществлено методом перекрестного изучения людей из старших возрастных групп. На основании полученных результатов выявлено, что гипертония в семейном анамнезе является фактором риска ее возникновения у последующего поколения. Риск развития гипертонии у пациента, в семейном анамнезе которого присутствует данное заболевание, выше в 3,216 раза, чем у пациента, в семье которого данное заболевание отсутствует.

В предыдущих исследованиях отмечалось, что люди, в семейном анамнезе которых отмечена гипертония у родителей, сталкиваются с повышенным риском ее возникновения. Это происходит вследствие того, что человек, родители которого страдают гипертонией, унаследует от них гены, вступающие во взаимодействие с факторами окружающей среды и вызывающие повышение кровяного давления. Генетические факторы приводят к риску возникновения гипертонии, что подтверждается таким феноменом, как более частая встречаемость гипертонии среди однояйцевых близнецов (одна зигота), чем среди разнояйцевых (разные зиготы). Если у человека есть генетическая предрасположенность к гипертонии, и он не получает лечение вовремя, то взаимодействие его организма с факторами окружающей среды приведет к развитию заболевания, и примерно в возрасте 30–50 лет могут появиться первые симптомы [21, 22].

Риск возникновения гипертонии, связанный с родительскими генами, повышается вследствие вредного воздействия факторов рабочей среды, существующих на угольных шахтах. В нашем исследовании рассматривается риск возникновения гипертонии для работников угольных шахт, вызванный воздействиями рабочей среды на их рабочих местах, и поведенческими практиками, которые нельзя назвать здоровыми.

Рабочая среда на угольных шахтах в Индонезии создает профессиональные риски для работников, вызванные физическими воздействиями – шумом и жарой, химическими воздействиями – угольной пылью, и психологическими угрозами. Влияние экологических рисков играет значительную роль в высокой распространенности гипертонии среди работников угольных шахт в Индонезии.

Среда на угольных шахтах в Индонезии отличается сухостью и повышенными температурами вследствие расположения шахт вблизи экватора и в зонах с тропическим климатом. Это приводит к тому, что работники подвержены воздействию высоких температур. Воздействие высоких температур на работников возникает вследствие работы на открытом воздухе под прямым солнечным светом, так как угольные шахты в Индонезии принадлежат к открытому типу.

Работники подвергаются воздействию жары на солнце во время работы в течение всего года. Средняя температура воздуха на угольных шахтах в Калимантане составляет 27,6 °C, или 81,68 °F; наиболее низкая отмеченная температура – 19,1 °C, или 66,38 °F, а наиболее высокая – 38 °C, или 100,4 °F [23]. Распределение температур указывает на повышенный риск воздействия жары на работников угольных шахт по сравнению с теми, условия труда которых не связаны с экстремальными температурами.

Воздействие высоких температур во время рабочего процесса влечет за собой риск возникнове-

ния гипертонии у работников угольных шахт. Подобное воздействие влияет на внутреннюю температуру тела, которая в свою очередь влияет на сердечно-сосудистую систему. Воздействие высокой температуры на организм рабочего приводит к его автоматическим попыткам адаптироваться к ней путем усиления притока крови к коже, на которую воздействует жара, для контроля над температурой тела. Этот усилившийся приток крови возникает за счет более интенсивного оттока крови от сердца. Данный механизм приводит к тому, что при измерении кровяное давление оказывается повышенным.

Эти результаты совпадают с данными предыдущих лабораторных экспериментов, выполненных на мышах: было выявлено, что воздействие повышенных температур приводит к повышению систолического и диастолического давления у мышей. Повышение кровяного давления возникало в момент, когда температура достигала 27 °C, или 80,6 °F [24].

Продолжительное воздействие повышенной температуры приводит к необходимости значительной адаптации организма, которая происходит благодаря функционированию сердечно-сосудистой системы, работающей сверх возможностей, что и приводит к развитию гипертонии у работников угольных шахт в Индонезии.

Высокий риск гипертонии вследствие воздействия жары может быть предотвращен с помощью тщательного планирования. Одним из инструментов профилактики может стать сокращение продолжительности рабочей смены при температуре воздуха, превышающей 27 °C, или 80,6 °F. Данный уровень применяется как основание для введения ограничений по причине того, что в исследованиях отмечено повышение кровяного давления именно при такой температуре. Ограничение длительности рабочей смены призвано сократить продолжительность воздействия жары на организм работников угольных шахт, особенно в летний сезон.

Воздействие шума также увеличивает риск развития гипертонии у работников угольных шахт в Индонезии. Шум на угольных шахтах возникает по причине применения тяжелого оборудования, конвейеров, взрывов грунта и выемки угля. Шахтеры постоянно подвергаются воздействию шума в течение всей 8-часовой рабочей смены.

Согласно данным Центра по контролю и предотвращению заболеваний работники угольных шахт на рабочих местах подвержены воздействию шума на уровне более 90 дБА [25]. В Индонезии уровень шумового воздействия на рабочем месте для 8-часовой рабочей смены установлен Приказом министра трудовых ресурсов Республики Индонезия № 5 от 2018 г. по гигиене и безопасности труда³. Согласно данному приказу шум на рабочем

³ Regulation of the Minister of Manpower of the Republic of Indonesia Number 5 of 2018 concerning Occupational Safety and Health [Электронный ресурс] // International Labour Organization. – URL: https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/country-profiles/asia/indonesia/WCMS_189431/lang--en/index.htm (дата обращения: 03.08.2020).

месте не должен превышать 85 дБА, а максимально допустимый уровень равен 139 дБА при времени воздействия не более 0,11 с. На основании данного Приказа можно сделать вывод, что шум на рабочих местах шахтеров должен контролироваться как фактор риска.

Воздействие шума на заболеваемость гипертонией классифицируется как неслуховой эффект и повышает возможность развития гипертонии у работников угольных шахт. При воздействии шума шахтеры чувствуют тревогу, что приводит к беспокойству и развитию стресса. Стресс, в свою очередь, ведет к сердечно-сосудистым изменениям, одним из которых является повышение кровяного давления. Продолжительное воздействие шума влечет за собой необходимость восстановления организма, а именно устранение последствий воздействия шума, не связанного со слухом. Стресс, вызванный шумом, может стать хроническим. Хронический стресс, приводящий к повышению кровяного давления, в конечном счете вызывает гипертонию у работников угольных шахт.

Таким образом, шум повышает риск возникновения гипертонии у работников, что не противоречит данным предыдущих исследований, в которых было показано, что шум оказывает влияние на возникновение продолжительного стресса. В свою очередь, стресс влечет за собой повышение в крови уровня липидов, вязкости крови, кровяного давления, минутного сердечного выброса, уровня сахара и свертываемости; все это приводит к сердечно-сосудистым заболеваниям, включая инсульт, ишемическую болезнь сердца и артериальную гипертензию [26].

Что касается работников угольных шахт, то воздействие шума на них может быть уменьшено путем применения индивидуальных средств защиты, особенно тех, что призваны сокращать шумовые воздействия во время работы, например затычки для ушей или наушники. Использование подобных средств защиты может сократить уровень шумового воздействия на 10–20 дБА.

В нашем исследовании также изучена взаимосвязь между гипертонией у рабочих угольных шахт и воздействием пыли. Высокая распространенность гипертонии может быть вызвана воздействием пыли на рабочем месте. Выше мы уже упоминали, что среда на шахтах в Индонезии отличается сухостью, особенно во время жаркого засушливого времени года, что приводит к высыханию почв и образованию большого количества пыли. Пыль как фактор риска здоровью рабочих на угольных шахтах возникает как вследствие сухости почвы, так и во время процессов обработки угля.

Воздействие пыли, проникающей в организм через дыхательные пути, приводит к повышению риска гипертонии у рабочих угольных шахт вследствие того, что микроскопические частицы пыли, проникая в легкие через дыхательные пути, разносятся по всему организму по мере того, как кровь из легких поступает к сердцу. Эти жесткие частицы могут заблокировать кровоток к сердцу, что, в свою очередь, вызывает подъем кровяного давления, способствуя возникновению гипертонии.

Экспериментальные исследования с участием людей, подвергающихся воздействию пыли, выявили, что люди, подвергающиеся воздействию частиц с диаметром 2,5–10 мкм страдают учащенным сердцебиением, и их давление повышено, как систолическое, так и диастолическое. Это происходит вследствие способности данных частиц блокировать кровоток к сердцу [27, 28].

Для предотвращения повышенных рисков возникновения гипертонии вследствие воздействия пыли рабочим необходимо носить маски во время трудовой смены. Нужны пылевые маски, способные отфильтровывать частицы с диаметром 2,5 мкм так, чтобы предотвратить их проникновение в дыхательные пути. При использовании таких масок необходимо периодически менять в них картриджи фильтра.

Наше исследование показало, что изученная рабочая среда на угольных шахтах создает значительный риск повышенной распространенности гипертонии. Система работы, принятая на угольных шахтах в Индонезии, влечет за собой проживание работников в поселке при шахте, где они ночуют группами в коттеджах в течение нескольких недель, что создает возможность еще более высокого риска гипертонии вследствие рабочего стресса, психологических проблем, связанных с оторванностью от семьи, плохого питания и физических нагрузок.

Выводы. На основании результатов нашего исследования можно заключить, что существует взаимосвязь между гипертонией в анамнезе у родителей и заболеваемостью гипертонией среди работников угольных шахт. Данные результаты являются достаточным доказательством того, что наследственность или генетика играют свою роль в возникновении повышенных рисков гипертонии для рабочих угольных шахт. Рабочая среда на угольных шахтах также создает значительные риски повышенной распространенности гипертонии среди работников угольных шахт.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Hypertension Canada's 2018 Guidelines for Diagnosis, Risk Assessment, Prevention, and Treatment of Hypertension in Adults and Children / K.A. Nerenberg, K.B. Zarnke, A.A. Leung, K. Dasgupta, S. Butalia, K. McBrien, K.C. Harris, M. Nakhla [et al.] // *Can. J. Cardiol.* – 2018. – Vol. 34, № 5. – P. 506–525. DOI: 10.1016/j.cjca.2018.02.022
2. Pickering G. Hypertension. Definitions, natural histories and consequences // *Am. J. Med.* – 1972. – Vol. 52, № 5. – P. 570–583. DOI: 10.1016/0002-9343(72)90049-6
3. The relationship between hypertension and health-related quality of life: adjusted by chronic pain, chronic diseases, and life habits in the general middle-aged population in Japan / M. Kitaoka, J. Mitoma, H. Asakura, O.E. Anyenda, T.T.T. Nguyen, T. Hamagishi, D. Hori, F. Suzuki [et al.] // *Environ Health Prev. Med.* – 2016. – Vol. 21, № 4. – P. 193–214. DOI: 10.1007/s12199-016-0514-6
4. Hipertensi Penyakit Paling Banyak Diidap Masyarakat [Электронный ресурс] // Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. – 2018. – URL: <https://www.kemkes.go.id/article/view/19051700002/hipertensi-penyakit-paling-banyak-diidap-masyarakat.html> (дата обращения: 03.08.2020).
5. Effects of blood pressure reduction in mild hypertension: A systematic review and meta-analysis / J. Sundström, H. Arima, R. Jackson, F. Turnbull, K. Rahimi, J. Chalmers, M. Woodward, B. Neal [et al.] // *Ann. Intern. Med.* – 2015. – Vol. 162, № 3. – P. 184–191. DOI: 10.7326/M14-0773
6. Uncontrolled hypertension increases risk of all-cause and cardiovascular disease mortality in US adults: The NHANES III Linked Mortality Study / D. Zhou, B. Xi, M. Zhao, L. Wang, S.P. Veeranki // *Sci. Rep.* – 2018. – Vol. 20, № 8 (1). – P. 9418. DOI: 10.1038/s41598-018-27377-2
7. Hipertensi. – Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI, 2018. – 8 p.
8. Tambunan T. Recent evidence of the development of micro, small and medium enterprises in Indonesia // *J. Glob. Entrep. Res.* – 2019. – № 9. – P. 18. DOI: 10.1186/s40497-018-0140-4
9. Shi X., Song Z. The Silent Majority: Local residents' environmental behavior and its influencing factors in coal mine area // *J. Clean. Prod.* – 2019. – № 240. – P. 118275. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118275
10. Bhattacharjee A., Kunar B. Miners' return to work following injuries in coal mines // *Med. Pr.* – 2016. – Vol. 67, № 6. – P. 729–742. DOI: 10.13075/mp.5893.00429
11. The influence of family history of Hypertension on disease prevalence and associated metabolic risk factors among Sri Lankan adults Chronic Disease epidemiology / P. Ranasinghe, D.N. Cooray, R. Jayawardena, P. Katulanda // *BMC Public Health.* – 2015. – Vol. 20, № 15. – P. 576. DOI: 10.1186/s12889-015-1927-7
12. Frese E.M., Fick A., Sadowsky S.H. Blood Pressure Measurement Guidelines for Physical Therapists // *Cardiopulm Phys Ther J.* – 2011. – Vol. 22, № 2. – P. 5–12.
13. The Seventh Report of the Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure (JNC 7). – U.S. department of health and human services; National Institutes of Health National Heart, Lung, and Blood Institute, 2003. – 104 p.
14. Chataut J., Khanal K., Manandhar K. Prevalence and associated factors of hypertension among adults in rural Nepal: A community based study // *Kathmandu Univ. Med. J.* – 2016. – Vol. 13, № 4. – P. 346–350. DOI: 10.3126/kumj.v13i4.16835
15. Egan B.M. Defining hypertension by blood pressure 130/80 mm Hg leads to an impressive burden of hypertension in young and middle-aged black adults: Follow-up in the CARDIA study // *J. Am. Heart. Assoc.* – 2018. – Vol. 17, № 7 (14). – P. e009971. DOI: 10.1161/JAHA.118.009971
16. Buford T.W. Hypertension and aging // *Ageing. Res. Rev.* – 2016. – Vol. 26, № 1. – P. 96–111. DOI: 10.1016/j.arr.2016.01.007
17. Descriptive study of the prevalence of anemia, hypertension, diabetes and quality of life in a randomly selected population of elderly subjects from São Paulo / J. Lacerda, M.R. Lopes, D.P. Ferreira, F.L.A. Fonseca, P. Favaro // *Rev. Bras. Hematol. Hemoter.* – 2016. – Vol. 38, № 2. – P. 96–111. DOI: 10.1016/j.arr.2016.01.007
18. Association between family history and hypertension among Chinese elderly / M. Liu, Y. He, B. Jiang, J. Wang, L. Wu, Y. Wang, D. Zhang, J. Zeng, Y. Yao // *Med (United States).* – 2015. – Vol. 94, № 48. – P. e2226. DOI: 10.1097/MD.0000000000002226
19. Yoo J.E., Park H.S. Relationship between parental hypertension and cardiometabolic risk factors in adolescents // *J. Clin. Hypertens.* – 2017. – Vol. 19, № 7. – P. 678–683. DOI: 10.1111/jch.12991
20. Fathers may play a bigger role than mothers in hypertensive patients complicated with coronary heart disease / H. Chen, M. Sun, Z. Fan, X. Wu, J. Li, Y. Zhu, J. Zhu // *Biomed Res.* – 2018. – Vol. 29, № 3. – P. 558–562. DOI: 10.4066/biomedicalresearch.29-17-3230
21. Recent development of risk-prediction models for incident hypertension: An updated systematic review / D. Sun, J. Liu, L. Xiao, Y. Liu, Z. Wang, C. Li, Y. Jin, Q. Zhao, S. We // *PLoS One.* – 2017. – Vol. 12, № 10. – P. e0187240. DOI: 10.1371/journal.pone.0187240
22. Ahn S.Y., Gupta C. Genetic programming of hypertension // *Front Pediatr.* – 2018. – Vol. 22, № 5. – P. 285. DOI: 10.3389/fped.2017.00285
23. Suhu Minimum, Rata-Rata, dan Maksimum di Stasiun Pengamatan BMKG [Электронный ресурс] // Badan Pusat Statistik. – 2017. – URL: <https://www.bps.go.id/statictable/2017/02/09/1961/suhu-minimum-rata-rata-dan-maksimum-di-stasiun-pengamatan-bmkg-oc-2011-2015.html> (дата обращения: 03.08.2020).
24. Swali A. The impact of heat stress on blood pressure // *Heat Stress. Causes, Treatment and Prevention.* – 2012. – № 19. – P. 3809–3819.
25. Babich D.R., Bauer E.R., Viperman J.R. Equipment Noise and Worker Exposure in the Coal Mining Industry // *United States Natl Inst Occup Saf Heal (NIOSH).* – 2006. – № 2006. – P. 1–77.
26. Münzel T., Sørensen M. Noise pollution and arterial hypertension // *Eur. Cardiol. Rev.* – 2017. – Vol. 12, № 1. – P. 26–29. DOI: 10.15420/eur.2016.31:2
27. Acute increase in blood pressure during inhalation of coarse particulate matter air pollution from an urban location / J.B. Byrd, M. Morishita, R.L. Bard, R. Das, L. Wang, Z. Sun, C. Spino, J. Harkema [et al.] // *J. Am. Soc. Hypertens.* – 2016. – Vol. 10, № 2. – P. 133–139. DOI: 10.1016/j.jash.2015.11.015

28. Association between fine particulate matter and diabetes prevalence in the U.S. Diabetes Care / J.F. Pearson, C. Bachireddy, S. Shyamprasad, A.B. Goldfine, J.S. Brownstein // Diabetes Care. – 2010. – Vol. 33, № 10. – P. 2196–2201. DOI: 10.2337/dc10-0698

Курния Ардиансыях Акбар. Гипертония угольных рабочих в Индонезии, связанная с родительской гипертензией // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 100–107. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.10

UDC 616.12 (008.331)
DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.10.eng



Research article

HYPERTENSION AMONG COAL MINING WORKERS ASSOCIATED WITH PARENTAL HYPERTENSION IN INDONESIA

Kurnia Ardiansyah Akbar

Faculty of Public Health, Jember University, Jl. Kalimantan No. 42, Krajan Timur, Sumbersari, Kec. Sumbersari, Jember Regency, East Java, 68121, Indonesia

Hypertension is a chronic disease with its prevalence increasing from 2013 to 2018 among population in Indonesia. In 2013 the prevalence of hypertension was 25.8%, and in 2018 it increased to 34.1 %. Therefore, to control hypertension, it is necessary to involve all related parties, doctors and health professionals from various fields of hypertension specialization, government, the private sector, and the public.

Business is a private party that has the authority to participate in the prevention of hypertension in Indonesia. Coal mining sector traditionally creates a lot of workplaces in the country. This study aimed to look at the influence exerted by hypertension in parents' case history on risks of incidence with hypertension among coal mining workers.

This study is a cross-sectional one with two variables, namely hypertension in parents' case histories and hypertension among coal mining workers performed on a sampling including 360 coal mining workers. The results showed that if a father had hypertension in his case history the risk of incidence with hypertension among coal mining workers was 3.143 times higher because $OR = 3.143$; 95 % $CI (1.568 < OR < 6.229)$, while if a mother had hypertension in her case history the risk of incidence with hypertension among coal mining workers was 6.519 times higher because $OR = 6.519$; 95 % $CI (3.267 < OR < 13.008)$ and if both parents have hypertension in their case history, the risk of incidence with hypertension among coal mine workers was 6.061 times higher because $OR = 6.061$; 95% $CI (2.910 < OR < 12.625)$. The obtained results are enough to prove that hereditary or genetic factors play their role in elevated risks of hypertension in coal mining workers.

Key words: workers, coal mining, coal mining workers, hypertension, risks of hypertension, parental hypertension, hypertension in workers, hypertension in coal mining workers, hypertension in Indonesia.

References

1. Nerenberg K.A., Zarnke K.B., Leung A.A., Dasgupta K., Butalia S., McBrien K., Harris K.C., Nakhla M. [et al.]. Hypertension Canada's 2018 Guidelines for Diagnosis, Risk Assessment, Prevention, and Treatment of Hypertension in Adults and Children. *Can. J. Cardiol.*, 2018, vol. 34, no. 5, pp. 506–525. DOI: 10.1016/j.cjca.2018.02.022
2. Pickering G. Hypertension. Definitions, natural histories and consequences. *Am. J. Med.*, 1972, vol. 52, no. 5, pp. 570–583. DOI: 10.1016/0002-9343(72)90049-6
3. Kitaoka M., Mitoma J., Asakura H., Anyenda O.E., Nguyen T.T.T., Hamagishi T., Hori D., Suzuki F. [et al.]. The relationship between hypertension and health-related quality of life: adjusted by chronic pain, chronic diseases, and life habits in the general middle-aged population in Japan. *Environ Health. Prev. Med.*, 2016, vol. 21, no. 4, pp. 193–214. DOI: 10.1007/s12199-016-0514-6
4. Hipertensi Penyakit Paling Banyak Diidap Masyarakat. *Kementerian Kesehatan Republik Indonesia*, 2018. Available at: <https://www.kemkes.go.id/article/view/19051700002/hipertensi-penyakit-paling-banyak-diidap-masyarakat.html> (03.08.2020).

© Kurnia Ardiansyah Akbar, 2021

Akbar Ardiansyah Kurnia – Master of Occupational Health and Safety, Assistant Professor at Faculty of Public Health (e-mail: ardiansyah_akbar@unej.ac.id; tel.: +62-85746757111; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6265-3064>).

5. J. Sundström, H. Arima, R. Jackson, F. Turnbull, K. Rahimi, J. Chalmers, M. Woodward, B. Neal [et al.]. Effects of blood pressure reduction in mild hypertension: A systematic review and meta-analysis. *Ann. Intern. Med.*, 2015, vol. 162, no. 3, pp. 184–191. DOI: 10.7326/M14-0773
6. Zhou D., Xi B., Zhao M., Wang L., Veeranki S.P. Uncontrolled hypertension increases risk of all-cause and cardiovascular disease mortality in US adults: The NHANES III Linked Mortality Study. *Sci. Rep.*, 2018, vol. 20, no. 8 (1), pp. 9418. DOI: 10.1038/s41598-018-27377-2
7. Hipertensi. Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI, 2018, 8 p.
8. Tambunan T. Recent evidence of the development of micro, small and medium enterprises in Indonesia. *J. Glob. Entrep. Res.*, 2019, no. 9, pp. 18. DOI: 10.1186/s40497-018-0140-4
9. Shi X., Song Z. The Silent Majority: Local residents' environmental behavior and its influencing factors in coal mine area. *J. Clean. Prod.*, 2019, no. 240, pp. 118275. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118275
10. Bhattacharjee A., Kunar B. Miners' return to work following injuries in coal mines. *Med. Pr.*, 2016, vol. 67, no. 6, pp. 729–742. DOI: 10.13075/mp.5893.00429
11. Ranasinghe P., Cooray D.N., Jayawardena R., Katulanda P. The influence of family history of Hypertension on disease prevalence and associated metabolic risk factors among Sri Lankan adults Chronic Disease epidemiology. *BMC Public Health*, 2015, vol. 20, no. 15, pp. 576. DOI: 10.1186/s12889-015-1927-7
12. Frese E.M., Fick A., Sadowsky S.H. Blood Pressure Measurement Guidelines for Physical Therapists. *Cardiopulm Phys. Ther. J.*, 2011, vol. 22, no. 2, pp. 5–12.
13. The Seventh Report of the Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure (JNC 7). U.S. department of health and human services; National Institutes of Health National Heart, Lung, and Blood Institute, 2003, pp. 104.
14. Chataut J., Khanal K., Manandhar K. Prevalence and associated factors of hypertension among adults in rural Nepal: A community based study. *Kathmandu Univ. Med. J.*, 2016, vol. 13, no. 4, pp. 346–350. DOI: 10.3126/kumj.v13i4.16835
15. Egan B.M. Defining hypertension by blood pressure 130/80 mm Hg leads to an impressive burden of hypertension in young and middle-aged black adults: Follow-up in the CARDIA study. *J. Am. Heart. Assoc.*, 2018, vol. 17, no. 7 (14), pp. e009971. DOI: 10.1161/JAHA.118.009971
16. Buford T.W. Hypertension and aging. *Ageing Res. Rev.*, 2016, vol. 26, no. 1, pp. 96–111. DOI: 10.1016/j.arr.2016.01.007
17. Lacerda J., Lopes M.R., Ferreira D.P., Fonseca F.L.A., Favaro P. Descriptive study of the prevalence of anemia, hypertension, diabetes and quality of life in a randomly selected population of elderly subjects from São Paulo. *Rev. Bras. Hematol. Hemoter.*, 2016, vol. 38, no. 2, pp. 96–111. DOI: 10.1016/j.arr.2016.01.007
18. Liu M., He Y., Jiang B., Wang J., Wu L., Wang Y., Zhang D., Zeng J., Yao Y. Association between family history and hypertension among Chinese elderly. *Med. (United States)*, 2015, vol. 94, no. 48, pp. e2226. DOI: 10.1097/MD.0000000000002226
19. Yoo J.E., Park H.S. Relationship between parental hypertension and cardiometabolic risk factors in adolescents. *J. Clin. Hypertens.*, 2017, vol. 19, no. 7, pp. 678–683. DOI: 10.1111/jch.12991
20. Chen H., Sun M., Fan Z., Wu X., Li J., Zhu Y., Zhu J. Fathers may play a bigger role than mothers in hypertensive patients complicated with coronary heart disease. *Biomed Res.*, 2018, vol. 29, no. 3, pp. 558–562. DOI: 10.4066/biomedicalresearch.29-17-3230
21. Sun D., Liu J., Xiao L., Liu Y., Wang Z., Li C., Jin Y., Zhao Q., We S. Recent development of risk-prediction models for incident hypertension: An updated systematic review. *PLoS One*, 2017, vol. 12, no. 10, pp. e0187240. DOI: 10.1371/journal.pone.0187240
22. Ahn S.Y., Gupta C. Genetic programming of hypertension. *Front Pediatr*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 285. DOI: 10.3389/fped.2017.00285
23. Suhu Minimum, Rata-Rata, dan Maksimum di Stasiun Pengamatan BMKG. *Badan Pusat Statistik*, 2017. Available at: <https://www.bps.go.id/statistictable/2017/02/09/1961/suhu-minimum-rata-rata-dan-maksimum-di-stasiun-pengamatan-bmkg-oc-2011-2015.html> (03.08.2020).
24. Swali A. The impact of heat stress on blood pressure. *Heat Stress. Causes, Treatment and Prevention*, 2012, no. 19, pp. 3809–3819.
25. Babich D.R., Bauer E.R., Viperman J.R. Equipment Noise and Worker Exposure in the Coal Mining Industry. *United States Natl Inst Occup Saf Heal (NIOSH)*, 2006, no. 2006, pp. 1–77.
26. Münzel T., Sørensen M. Noise pollution and arterial hypertension. *Eur. Cardiol. Rev.*, 2017, vol. 12, no. 1, pp. 26–29. DOI: 10.15420/eur.2016.31:2
27. Byrd J.B., Morishita M., Bard R.L., Das R., Wang L., Sun Z., Spino C., Harkema J. [et al.]. Acute increase in blood pressure during inhalation of coarse particulate matter air pollution from an urban location. *J. Am. Soc. Hypertens.*, 2016, vol. 10, no. 2, pp. 133–139. DOI: 10.1016/j.jash.2015.11.015
28. Pearson J.F., Bachireddy C., Shyamprasad S., Goldfine A.B., Brownstein J.S. Association between fine particulate matter and diabetes prevalence in the U.S. *Diabetes Care*, 2010, vol. 33, no. 10, pp. 2196–2201. DOI: 10.2337/dc10-0698

Kurnia Ardiansyah Akbar. Hypertension among coal mining workers associated with parental hypertension in Indonesia. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 100–107. DOI: 10.21668/health.risk/2020.1.10.eng

Получена: 19.08.2020

Принята: 03.03.2021.

Опубликована: 30.03.2021



Научная статья

СИБИРЕЯЗВЕННЫЕ ЗАХОРОНЕНИЯ – ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ УГРОЗА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КРИОЛИТОЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

С.А. Игловский, В.В. Крячюнас

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова
УрО РАН, Россия, 163000, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, 109

За последнее время в РФ зарегистрирован ряд случаев заболевания животных и людей сибирской язвой. Фактором риска эпизоотологического неблагополучия по сибирской язве продолжают оставаться сибиреязвенные скотомогильники, состояние многих из них не соответствует требованиям санитарно-эпидемиологических правил, особенно в зоне развития многолетнемерзлых пород Европейского Севера России.

Осуществлено исследование состояния сибиреязвенных скотомогильников, особенно в условиях меняющегося климата и криолитозоны, и оценены перспективы их состояния в будущем. Это важно для коренного населения, проживающего в тундре и осуществляющего здесь выпас многотысячных стад оленей.

Для достижения этой цели решались следующие задачи. Был проведен предварительный анализ распространения сибиреязвенных скотомогильников на Европейском Севере России и мест, неблагополучных по сибирской язве. Месторасположение этих участков было сопоставлено с имеющимися материалами по современному развитию криолитозоны на Европейском Севере России. Необходимо было дать оценку предстоящих изменений криолитозоны и описать возникающие проблемы, связанные с распространением здесь сибиреязвенных скотомогильников, и предложить возможные пути их решения. За последние 50 лет значительные участки криолитозоны здесь протаяли на всю мощность или частично, особенно вблизи южной границы мерзлоты. Важно понять, в каком состоянии сейчас находятся сибиреязвенные скотомогильники в условиях меняющегося климата и оценить перспективы их состояния в будущем. Для недопущения возникновения чрезвычайных ситуаций в зоне активизации геокриологических процессов на территории скотомогильников необходимо провести превентивный комплекс температурных замеров, оценки геокриологической опасности, создать математические модели развития негативных событий, а также осуществить ряд противоэпидемических, противоэпизоотических и профилактических мероприятий.

Ключевые слова: сибиреязвенные скотомогильники, риски, криолитозона, сезонно-талый слой, деградация мерзлоты, протаивание, мониторинг.

За последнее время в России зарегистрирован ряд случаев заболевания животных и людей сибирской язвой. Причинами заболевания явились контакты с больными животными при проведении убоя без уведомления ветеринарной службы, при обработке туш и захоронении трупов животных, павших от сибирской язвы, при обработке зараженного мяса, при уходе за больными животными или при торговле мясом на рынках. Фактором риска эпизоотологического

неблагополучия по сибирской язве продолжают оставаться сибиреязвенные скотомогильники, состояние многих из них не соответствует требованиям санитарно-эпидемиологических правил, что отмечено в работах [1–12], особенно в зоне развития многолетнемерзлых пород (ММП) и в зоне сезонного промерзания¹. Эти могильники могут быть подвержены разрушению в результате таяния мерзлоты. В 2016 г. эпидемиологическая об-

© Игловский С.А., Крячюнас В.В., 2021

Игловский Станислав Анатольевич – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: iglovskys@mail.ru; тел.: 8 (921) 240-80-08; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9675-455X>).

Крячюнас Вилас Винанто – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: vidas76@mail.ru; тел.: 8 (911) 068-15-76; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7437-381X>).

¹ Обзорная геокриологическая карта Большеземельской тундры (Республика Коми и Ненецкий автономный округ). Масштаб 1:1000000 / Г.Г. Осадчая, Н.В. Тумель, Т.Ю. Зенгина, Е.М. Лаптева // Отчет проекта ПРООН/ГЭФ/ЕС Укрепление системы особо охраняемых природных территорий Республики Коми в целях сохранения биоразнообразия первичных лесов в районе верховьев р. Печора. – Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2015. – 112 с.

становка в РФ по сибирской язве осложнилась. В Ямальском районе Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) зарегистрирован очаг сибирской язвы, сформировавшийся на фоне крупной эпизоотии среди оленей [13, 14]. Эпизоотии сибирской язвы среди сельскохозяйственных и диких животных ежегодно регистрируются в странах Азии, Африки и Южной Америки, зачастую приводя к масштабным вспышкам среди людей. Крупная вспышка сибирской язвы отмечена в мае-июне 2017 г. в Индии, Пакистане и Бангладеш [15]. Заболевания животных сибирской язвой обусловлены в основном выпасом их на санитарно-защитных территориях сибирезвенных скотомогильников и заготовкой кормов на территориях скотомогильников. Также особое значение имеет вакцинация поголовья и его полный охват. Потенциал инфекции поддерживается существованием значительного количества почвенных очагов, которые проявляют себя в течение продолжительного времени периодическими вспышками среди сельскохозяйственных животных и людей. Но наибольшую угрозу для людей и животных представляют сибирезвенные скотомогильники. На территории России расположено порядка 35 тысяч стационарно неблагополучных по сибирской язве пунктов с почвенными очагами, причем из которых 7940 – скотомогильники [9].

За последние 50 лет значительные участки криолитозоны на Европейском Севере России протаяли на всю мощность или частично, особенно вблизи южной границы мерзлоты.

Цель исследования – понять, в каком состоянии сейчас находятся здесь сибирезвенные скотомогильники, особенно в условиях меняющегося климата и криолитозоны, и оценить перспективы их состояния в будущем. Это важно для коренного населения, проживающего в тундре и осуществляющего здесь выпас многотысячных стад оленей. Для достижения этой цели решались следующие задачи. Проведен предварительный анализ распространения сибирезвенных скотомогильников на Европейском Севере России и мест, неблагополучных по сибирской язве. Месторасположение этих участков, частично отображенных на эпизоотической карте Ненецкого автономного округа², было сопоставлено с имеющимися материалами по современному развитию криолитозоны на Европейском Севере России¹ [16–21]. Необходимо было дать оценку предстоящих изменений криолитозоны и описать возникающие проблемы, связанные с распространением здесь сибирезвенных скотомогильников, и предложить возможные пути их решения.

Материалы и методы. На основании картографического анализа ряда мерзлотных карт, построенных по фактическим и спрогнозированным данным, можно сделать вывод о произошедшей зна-

чительной «перестройке» геокриологических условий Европейского Севера России [16–21]. Она выразилась в отступании к северу на десятки километров южных границ криолитозоны и зоны сплошного распространения многолетнемерзлых пород (ММП), а также в значительном увеличении мощности несквозных таликов, существовавших до указанного периода, и в сокращении площади ММП за счет возникновения новых таликов, значительном повышении температуры ММП и развитии термокарстовых просадок [17, 22, 23]. Деграция ММП, спрогнозированная к 2020 г., проявится значительно слабее, чем за 1970–2005 гг. Но после 2020 гг. можно ожидать усиления в сравнении с прогнозом деграции ММП за счет отепляющего эффекта возрастающей эмиссии парниковых газов из мерзлоты [24].

Результаты и их обсуждение. Одной из важнейших характеристик, определяющих современное состояние криолитозоны, является ее температура. Так, наибольшие изменения температур ММП (повышение на 0,6–1 °С) происходят в восточной части Ненецкого автономного округа (НАО) и Республики Коми (Урал, Пай-Хой). Здесь следует уделить внимание состоянию неблагополучных по сибирской язве районов: бассейнам рек Малая Уса, Большая Сырьяга, Хальмершор (Республика Коми), Юнкошор, окрестностям Карской губы, р. Табью (НАО) [19].

Повышение температуры ММП на 0,4–0,6 °С затрагивает территории к востоку от линии р. Порчтывыс – р. Сядэйю. Здесь также существуют неблагополучные по сибирской язве территории. Это бассейны рек Порчтывыс, Сядэйю, Адзвы, Пяйю, окрестности Вашуткиных озер, реки Савайю, Сянаю, Ярейю, Юнкошор.

Повышение температуры ММП на 0,2–0,4 °С захватило практически всю территории НАО за исключением побережья Печорской губы, Баренцева моря, где температура изменится незначительно – до 0,2 °С. Так, на стационаре Болванский тренд возрастание среднегодовой температуры пород для различных ландшафтов в среднем составило 0,04 °С в год. В 1980-е гг. среднегодовая температура ММП на глубине 10 м изменялась от –0,8 до –2,5 °С, а затем повысилась на 0,2...1,2 °С, при этом диапазон изменения среднегодовой температуры ММП в различных ландшафтах сократился почти в три раза и составляет в настоящее время –0,6...–1,2 °С. В зоне южной тундры на площадке стационара Болванский начиная с 2000 г. отмечается увеличение мощности протаивания сезонно-талого слоя с 1,2 м (2000 г.) до 1,8 м (2016 г.), что превышает глубину потенциального промерзания для этого района (началось опускание кровли мерзлоты) [21]. Глубина протаивания в период с 2005 по 2020 г. составила в районе Вашуткиных озер, западной части бассейна р. Адзвы –

² Эпизоотическая карта Ненецкого автономного округа. – Нарьян-Мар: ОГУ НАО Ненецкий информационно-аналитический центр, 2010.

от 1 до 2 м, р. Коратаиха – до 1 м, р. Юнъяха, Ярэйю – до 2 м, р. Юнкошор – от 2 до 4 м, в районе Карской губы – до 1 м, р. Табь-Ю – до 1 м.

На севере НАО (побережье Баренцева и Карского морей) возможны единичные случаи появления таликовых зон в местах неблагоприятных по сибирской язве. Это зона к югу от Болванской губы, бассейн р. Урерьяха, бассейн р. Юнкошор, окрестности п. Амдермы (глубина протаивания до 1 м).

Мерзлотно-картографический анализ позволяет констатировать следующее. Во-первых, за период с 1970 по 2020 г. произошло существенное сокращение площади голоценовых ММП, распространенных с земной поверхности и полностью протаявших в самых южных районах, что следует учитывать при оценке сибирезвенных скотомогильников. В результате южная граница развития этих ММП сместилась к северу в основном на 30–40 км в Печорской низменности и на полуострове Канин, на цокольных равнинах Приуралья – до 80 км [18, 19]. Во-вторых, возникли многочисленные снежниковые несквозные талики на междуречьях зоны сплошного и южных площадях зоны сплошного распространения ММП. Этот факт в сочетании с повышением температуры сливающихся ММП до минус 2 °С и теплее позволяет констатировать смещение к северу границы зон сплошного и несплошного распространения ММП: на 15–20 км в равнинной тундре и на многие десятки километров в Приуралье и на Пай-Хое [18]. В-третьих, почти повсеместное повышение температуры ММП обусловило столь же почти повсеместную активизацию процессов термокарста в пределах ландшафтов, сложенных четвертичными минеральными отложениями [20].

Анализируя ситуацию по распространению ММП и сибирской язве в НАО в период с 1970 по 2010 г., можно сделать следующие предположения о дальнейшем развитии. Довольно большую площадь в НАО на границе с Республикой Коми занимали участки на песчаных отложениях, на которых долгое время существовали ММП. В период с 1970 по 2020 г. они практически протаяли на всю мощность либо частично. В эту зону попадает территория к юго-востоку от г. Нарьян-Мара, на которой отмечены участки распространения сибирской язве. Это собственно окрестности г. Нарьян-Мар, бассейны рек Куи, Войвож, Белая-Ю, Нюрбейн-Ю, Хальмер-Ю, Колва, Коллавис, Пайвис, Нерую, Воулэсью, Харутаю, Левый Фома-Ю. На этой территории существенно изменилась геокриологическая ситуация. Увеличилась обводненность и заболоченность территории, активизировались криогенные процессы. Большая часть зоны сплошного распространения ММП в НАО (по линии Нарьян-Мар – Вашуткины озера по 68 °с.ш.) за период с 1970 по 2020 г. трансформировалась в зону несплошного их распространения, что выразилось в появлении таликовых зон. Так, в бассейне р. Тэдиньяха, Пэхэхэяха, Урэнъяха (неблагоприятных по сибирской язве) глубина протаивания

в период с 1970 по 2020 г. составила от 6 до 8 м, в районе Вашуткиных озер – от 4 до 6 м, западная часть бассейна р. Адзья – от 8 до 9 м, р. Коратаиха – от 5 до 7 м, р. Юнъяха, Ярэйю – от 6 до 10 м, р. Юнкошор – от 6 до 12 м, в районе Карской губы – от 5 до 7 м, р. Табь-Ю – от 4 до 6 м.

В Архангельской области в зоне сезонного промерзания заболевания людей сибирской язвой не регистрируются более 80 лет [25]. Последнее заболевание сибирской язвой среди животных (свиньи) было зарегистрировано в 1984 г. в поселке Уйма Приморского района. В Архангельской области имеется 24 сибирезвенных скотомогильника. Хозяйственная принадлежность не определена у восьми скотомогильников, в том числе четырех в Красноборском районе, двух в Няндомском районе, по одному в Онежском и Пинежском районах. Неблагополучная эпизоотологическая ситуация по сибирской язве создает угрозу завоза больных животных, сырья и продуктов животноводства, содержащих споры возбудителя сибирской язве, на территорию Архангельской области.

Сегодня на территории Архангельской области находится 113 скотомогильников (биотермических ям), в том числе сибирезвенных захоронений – 24. Все сибирезвенные захоронения соответствуют требованиям ветеринарно-санитарных правил. На данный момент как в РФ, так и в Архангельской области ведется полноценная кропотливая работа по поддержанию в надлежащем ветеринарно-санитарном состоянии сибирезвенных захоронений и биотермических ям. В стационарно неблагоприятных по сибирской язве пунктах проводится вакцинация животных против сибирской язве (таблица).

Выводы. Таким образом, необходимо продолжение проведения комплексных мониторинговых исследований сибирезвенных скотомогильников на потенциально опасных участках активизации геокриологических процессов [14, 19, 26]. Наличие ряда незарегистрированных скотомогильников может привести к увеличению эпидемических вспышек заболевания, примером чему является чрезвычайная ситуация, случившаяся в ЯНАО. Для снижения риска следует провести географическую привязку незарегистрированных скотомогильников, как это было сделано для Ставропольского края с использованием геоинформационной системы [27].

В настоящий момент происходит значительное изменение геокриологических условий Европейского Севера России. На десятки километров отступает южная граница криолитозоны и зоны сплошного распространения ММП [28]. Значительно увеличивается мощность несквозных таликов, существовавших ранее, и происходит сокращение площади ММП за счет возникновения новых таликов, значительное повышение температуры ММП и развитие термокарстовых просадок, что может вызвать разрушение сибирезвенных скотомогильников, особенно в уязвимой тундровой зоне, как в зоне много-

Муниципальные образования Архангельской области, на территории которых имеются сибирезвенные скотомогильники (по состоянию на 20.03.2009)

Муниципальное образование	Общее количество захоронений		Скотомогильники		
	место не установлено	место не установлено	закрытые	действующие	сибирезвенные
г. Архангельск	1	–	–	–	–
Вельский	7	19	11	8	9
Верхнетоемский	–	15	11	4	–
Вилегодский	–	7	–	7	–
Виноградовский	–	7	4	3	1
Каргопольский	8	10	2	8	–
Коношский	1	3	2	1	2
Котласский	1	6	2	4	1
Красноборский	11	11	4	7	4
Ленский	–	3	2	1	–
Лешуконский	–	7	–	7	–
Мезенский	–	8	1	4	1
Нядомский	2	5	2	3	2
Онежский	–	2	1	1	1
Пинежский	–	1	1	–	1
Плесецкий	2	8	2	6	–
Приморский	–	4	–	4	–
Устьянский	2	5	1	4	–
Холмогорский	–	12	3	9	1
Шенкурский	–	20	7	13	1
Всего	35	150	56	94	24
Ненецкий автономный округ	19	–	–	–	–

летнемерзлых пород, так и в зоне сезонного промерзания, где происходят ежегодные многотысячные миграции северных оленей с севера на юг и обратно, и привести к высвобождению из оттаявших слоев спор сибирской язвы. Одной из важных проблем является низкая осведомленность коренного населения тундры о рисках, связанных с сибирской язвой. Кроме того, деградация мерзлоты в сочетании с факторами, связанными с деятельностью человека (например, добычей нефти и газа), меняют традиционное культурное наследие коренных оленеводческих общин, что может привести к изменению маршрутов и срока выпаса оленей. При комплексном мониторинге необходимо оценивать передвижения оленеводческих общин, маршруты миграции животных, перемещение спор сибирской язвы в сезонно-талый слой, вызванное деградацией мерзлоты. Такой подход в сочетании с мониторингом состояния сезонно-талого слоя и мерзлоты в районах наибольшего риска, наряду с исследованиями процессов заражения сибирской

язвой на Европейском Севере России, может быть полезен лицам, принимающим решения в Арктических регионах в области охраны окружающей среды и здоровья населения. Для недопущения возникновения чрезвычайных ситуаций в зоне активизации геокриологических процессов на территории скотомогильников следует осуществить превентивный комплекс температурных замеров, оценки геокриологической опасности, создание математических моделей развития негативных событий, а также ряд противоэпидемических, противозoonотических и профилактических мероприятий.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 20-77-10057 «Диагностика деградации мерзлоты на базе изотопных трассеров ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, $\delta^{18}\text{O}+\delta^{2}\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}+^{14}\text{C}$)», руководитель проекта канд. геол.-мин. наук Е.Ю. Яковлев.

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

Список литературы

1. Гаврилов В.А. Биологическая опасность сибирезвенных скотомогильников и перспективы решения существующей проблемы // Жизнь без опасностей. Здоровье. Профилактика. Долголетие. – 2008. – № 4–1. – С. 81–84.
2. Bulgakova T. Climate change, vulnerability and adaptation among Nenets reindeer herders // Community Adaptation and Vulnerability in Arctic Regions. – 2010. – P. 83–105. DOI: 10.1007/978-90-481-9174-1
3. Revich B.A., Podolnaya M.A. Thawing of permafrost may disturb historic cattle burial grounds in East Siberia // Glob. Health Action. – 2011. – № 4. – P. 8482. DOI: 10.3402/gha.v4i0.8482
4. Revich B., Tokarevich N., Parkinson A.J. Climate change and zoonotic infections in the Russian Arctic // Int. J. Circumpolar Health. – 2012. – № 71. – P. 18792. DOI: 10.3402/ijch.v71i0.18792
5. Сибирезвенные скотомогильники на территории РФ и их биологическая безопасность / Е.Г. Симонова, В.В. Галкин, М.Н. Локтионова, В.И. Ладный // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 2010. – № 4. – С. 23–26.
6. Эпидемиологическая опасность сибирезвенных захоронений: теоретико-методологические аспекты / Е.Г. Симонова, С.А. Картава, М.Н. Локтионова, В.И. Ладный // Медицина в Кузбассе. – 2013. – Т. 12, № 2. – С. 26–31.

7. Kangbai J., Momoh E. Anthropogenic climatic change risks a global anthrax outbreak: a short communication // J. Trop. Dis. – 2017. – Vol. 5, № 4. – P. 2. DOI: 10.4172/2329-891X.1000244
8. Walsh M.G., de Smalen A.W., Mor S.M. Climatic influence on anthrax suitability in warming northern latitudes // Sci. Rep. – 2018. – Vol. 18, № 8 (1). – P. 9269. DOI: 10.1038/s41598-018-27604-w
9. Ковальчук Н.А. Сибиреязвенные скотомогильники: актуальные проблемы // Известия Российской Военно-медицинской академии. – 2019. – Т. 1, № S1. – С. 214–216.
10. Совершенствование методических подходов к обследованию сибиреязвенных захоронений и скотомогильников / З.Ф. Дугаржапова, М.В. Чеснокова, Т.А. Иванова, С.А. Косилко, С.В. Балахонов // Проблемы особо опасных инфекций. – 2019. – № 4. – С. 41–47.
11. Эпизоотолого-эпидемиологический мониторинг сибирской язвы в арктической и восточной зонах Якутии / Г.Т. Дягилев, В.Ф. Чернявский, И.Я. Егоров, О.Н. Софронова, О.И. Никифоров // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 95–105.
12. Factors Contributing to Anthrax Outbreaks in the Circumpolar North / K. Hueffer, D. Drown, V. Romanovsky, T. Hennessy // EcoHealth. – 2020. – Vol. 17. – P. 174–180. DOI: 10.1007/s10393-020-01474-z
13. Селянинов Ю.О., Егорова И.Ю., Колбасов Д.В. Сибирская язва на Ямале: причины возникновения и проблемы диагностики // Ветеринария. – 2016. – № 10. – С. 3–7.
14. Сибирская язва на Ямале: итоги ликвидации последствий чрезвычайной ситуации / Т.Г. Суранова, В.И. Прошин, В.В. Семинов, Н.Г. Горячева, П.В. Авитисов // Медицина катастроф. – 2017. – Т. 97, № 1. – С. 38–42.
15. Теребова С.В. Мониторинговые исследования вспышек сибирской язвы // Аграрный вестник Приморья. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 42–47.
16. Oberman N.G., Mazhitova G.G. Permafrost dynamics in the northeast of European Russia at the end of the 20th century // Norsk Geografi sk Tidsskrift. – 2001. – Vol. 4, № 55. – P. 241–244. DOI: 10.1080/00291950152746595
17. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов / под ред. Е.С. Мельникова, С.Е. Гречищева. – М.: ГЕОС. – 2002. – 402 с.
18. Оберман Н.Г., Шеслер И.Г. Современные и прогнозируемые изменения мерзлотных условий Европейского северо-востока Российской Федерации // Проблемы Севера и Арктики Российской Федерации: научно-информационный бюллетень. – 2009. – № 9. – С. 96–106.
19. Iglovsky S.A. Anthropogenic changes of permafrost in the European north and their consequences // Water Resources. – 2014. – Vol. 41, № 7. – P. 865–871. DOI: 10.1134/S0097807814070069
20. Осадчая Г.Г., Тумель Н.В., Королева А.М. Морфологическая структура криогенных ландшафтов Большеземельской тундры // Криосфера Земли. – 2016. – Т. 20, № 3. – С. 14–23.
21. Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе российской Арктики / А.А. Васильев, А.Г. Гравис, А.А. Губарьков, Д.С. Дроздов, Ю.В. Коростелев, Г.В. Малкова, Г.Е. Облогов [и др.] // Криосфера земли. – 2020. – Т. 24, № 2. – С. 15–30.
22. Перельштейн Г.З., Павлов А.В., Буйских А.А. Изменения криолитозоны в условиях современного климата // Геоэкология. – 2006. – № 4. – С. 305–312.
23. Permafrost is warming at a global scale / B.K. Biskaborn, S.L. Smith, J. Noetzli, H. Matthes, G. Vieira, D.A. Streletskiy, P. Schoeneich [et al.] // Nature Communication. – 2019. – Vol. 16, № 10 (1). – P. 264. DOI: 10.1038/s41467-018-08240-4
24. Permafrost collapse is accelerating carbon release / M.R. Turetsky, B.W. Abbott, M.C. Jones, K. Walter Anthony, D. Olefeldt, E.A.G. Schuur, C. Koven [et al.] // Nature. – 2019. – Vol. 569, № 7754. – P. 32–34. DOI: 10.1038/d41586-019-01313-4
25. Игловский С.А., Шаврина Е.В., Шварцман Ю.Г. Развитие геокриогенных процессов на территории Беломорско-Кулойского плато Архангельской области // Материалы научно-практической конференции, посвященной 25-летию ГПЗП Архангельск. – 1999. – С. 52–54.
26. Permafrost dynamics and the risk of anthrax transmission: a modelling study / E. Stella, L. Mari, J. Gabrieli, E. Bertuzzo // Sci. Rep. – 2020. – № 10. – P. 16460. DOI: 10.1038/s41598-020-72440-6
27. Использование геоинформационных систем для создания электронной базы данных сибиреязвенных захоронений на территории Ставропольского края / Н.П. Буравцева, В.М. Мезенцев, А.Г. Рязанова, Т.М. Головинская, Д.Ю. Дегтярев, А.Н. Пазенко, О.И. Семенова, А.Н. Куличенко // Проблемы особо опасных инфекций. – 2019. – № 4. – С. 31–36.
28. Оберман Н.Г., Лыгин А.М. Прогнозирование деградации многолетнемерзлых пород на примере Европейского Северо-востока страны // Разведка и охрана недр. – 2009. – № 7. – С. 15–20.

Игловский С.А., Кряучюнас В.В. Сибиреязвенные захоронения – потенциальная угроза при изменении криолитозоны Европейского Севера России // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 108–114. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.11



Research article

ANTHRAX CATTLE BURIALS AS A POTENTIAL THREAT CAUSED BY CHANGES IN CRYOLITE ZONES IN THE NORTHERN EUROPEAN PART OF RUSSIA**S.A. Iglovsky, V.V. Kriauciunas**

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 109 Naberezhnaya Severnoi Dviny, Arkhangel'sk, 163000, Russian Federation

Over recent years there have been registered anthrax cases among animals and people in Russia. Anthrax cattle burials remain a basic risk factor that causes epizootic deterioration. A lot of such burials do not correspond to sanitary-epidemiologic requirements especially those located in zones where long-term frozen rocks are now being developed in the northern European part of the country.

Our research goal was to examine a situation with anthrax cattle burials in the chosen regions, especially bearing in mind climatic changes and changes in cryolite zones as well as to assess future prospects regarding them. It is especially vital for native people who live in tundra and breed their numerous deer herds there.

To achieve the goal, several tasks were accomplished. First, we performed preliminary analysis of anthrax cattle burials distribution in the northern European part of the country and places that were unfavorable as per anthrax. Then, locations of such zones were compared with available data on contemporary development of the cryolite zone in the northern European part of the country. It was necessary to assess future changes in the cryolite zone and describe occurring problems related to anthrax cattle burials being widely spread there as well as to suggest possible ways to solve them. Over the last 50 years considerable spots in the cryolite zone have thawed through completely or partially, especially in an area close to the south border of frozen earth. It is important to know an actual situation with anthrax cattle burials given changing climatic conditions and to assess their future prospects. In order to prevent emergencies in zones where geocryological processes have been activated it is necessary to measure temperature on anthrax cattle burials territories, to assess geocryological threats, to create mathematical models for probable negative events occurrence, as well as to accomplish certain anti-epidemic, anti-epizootic, and preventive activities.

Key words: anthrax cattle burials, risks, cryolite zone, seasonal-thawed layer, frozen earth degradation, thawing through, monitoring.

References

1. Gavrilov V.A. Biologicheskaya opasnost' sibiriyazvennykh skotomogil'nikov i perspektivy resheniya sushchestvuyushchei problemy [Biological threat caused by anthrax cattle burials and prospects of finding solution to the existing problem]. *Zhizn' bez opasnostei. Zdorov'e. Profilaktika. Dolgoletie*, 2008, no. 4–1, pp. 81–84 (in Russian).
2. Bulgakova T. Climate change, vulnerability and adaptation among Nenets reindeer herders. *Community Adaptation and Vulnerability in Arctic Region*, 2010, pp. 83–105. DOI: 10.1007/978-90-481-9174-1
3. Revich B.A., Podolnaya M.A. Thawing of permafrost may disturb historic cattle burial grounds in East Siberia. *Glob. Health Action*, 2011, no. 4, pp. 8482. DOI: 10.3402/gha.v4i0.8482
4. Revich B., Tokarevich N., Parkinson A.J. Climate change and zoonotic infections in the Russian Arctic. *Int. J. Circumpolar Health*, 2012, no. 71, pp. 18792. DOI: 10.3402/ijch.v71i0.18792
5. Simonova E.G., Galkin V.V., Loktionova M.N., Ladnyi V.I. Anthrax cattle burial grounds in Russia and their bio-safety. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*, 2010, no. 4, pp. 23–26 (in Russian).
6. Simonova E.G., Kartavaya S.A., Loktionova M.N., Ladnyi V.I. Epidemiological hazard of anthrax animal burials: theoretical and methodological aspects. *Medsitsina v Kuzbasse*, 2013, vol. 12, no. 2, pp. 26–31 (in Russian).
7. Kangbai J., Momoh E. Anthropogenic climatic change risks a global anthrax outbreak: a short communication. *J. Trop. Dis*, 2017, vol. 5, no. 4, pp. 2. DOI: 10.4172/2329-891X.1000244
8. Walsh M.G., de Smalen A.W., Mor S.M. Climatic influence on anthrax suitability in warming northern latitudes. *Sci. Rep*, 2018, vol. 18, no.8 (1), pp. 9269. DOI: 10.1038/s41598-018-27604-w
9. Koval'chuk N.A. Siberian cattle burial grounds: actual problems. *Izvestiya Rossiiskoi Voenno-meditsinskoi akademii*, 2019, vol. 1, no. S1, pp. 214–216 (in Russian).

© Iglovsky S.A., Kriauciunas V.V., 2021

Stanislav A. Iglovsky – Candidate of Geographical Sciences, Leading researcher (e-mail: iglovskys@mail.ru; tel.: +7 (921) 240-80-08; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9675-455X>).

Vidas V. Kriauciunas – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading researcher (e-mail: vidas76@mail.ru; tel.: +7 (911) 068-15-76; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7437-381X>).

10. Dugarzhapova Z.F., Chesnokova M.V., Ivanova T.A., Kosilko S.A., Balakhonov S.V. Improvement of methodical approaches to investigation of anthrax burials and animal burial sites. *Problemy osobo opasnykh infektsii*, 2019, no. 4, pp. 41–47 (in Russian).
11. Dyagilev G.T., Chernyavskii V.F., Egorov I.Ya., Sofronova O.N., Nikiforov O.I. Epizootological and epidemiological monitoring of anthrax in the arctic and eastern zones of Yakutia. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki*, 2019, vol. 24, no. 2, pp. 95–105 (in Russian).
12. Hueffer K., Drown D., Romanovsky V., Hennessy T. Factors Contributing to Anthrax Outbreaks in the Circumpolar North. *EcoHealth*, 2020, vol. 17, pp. 174–180. DOI: 10.1007/s10393-020-01474-z
13. Selyaninov Yu.O., Egorova I.Yu., Kolbasov D.V. Anthrax in Yamal: reemergence causes and diagnostic issues. *Veterinariya*, 2016, no. 10, pp. 3–7 (in Russian).
14. Suranova T.G., Prosin V.I., Seminog V.V., Goryacheva N.G., Avitsov P.V. in Yamal: results of liquidation of consequences of emergency situation. *Meditsina katastrof*, 2017, vol. 97, no. 1, pp. 38–42 (in Russian).
15. Terebova S.V. The monitoring of anthrax outbreaks. *Agrarnyi vestnik Primor'ya*, 2017, vol. 8, no. 4, pp. 42–47 (in Russian).
16. Oberman N.G., Mazhitova G.G. Permafrost dynamics in the north east of European Russia at the end of the 20th century. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 2001, vol. 4, no. 55, pp. 241–244. DOI: 10.1080/00291950152746595
17. Vechaya merzlota i osvoenie neftegazonosnykh raionov [Frozen earth and oil-and-gas-bearing regions development]. In: E.S. Mel'nikova, S.E. Grechishcheva eds. Moscow, GEOS Publ., 2002, 402 p. (in Russian).
18. Oberman N.G., Shesler I.G. Sovremennye i prognoziруемые izmeneniya merzlotnykh uslovii Evropeiskogo severovostoka Rossiiskoi Federatsii [Contemporary and predicted changes in frozen earth in the north-east European part of the RF]. *Problemy Severa i Arktiki Rossiiskoi Federatsii: nauchno-informatsionnyi byulleten'*, 2009, no. 9, pp. 96–106 (in Russian).
19. Iglovsky S.A. Anthropogenic changes of permafrost in the European north and their consequences. *Water Resources*, 2014, vol. 41, no. 7, pp. 865–871. DOI: 10.1134/S0097807814070069
20. Osadchaya G.G., Tumel' N.V., Koroleva A.M. Morphological structure of cryogenic landscapes of the Bolshezemel'skaya tundra. *Kriosfera Zemli*, 2016, vol. 20, no. 3, pp. 14–23 (in Russian).
21. Vasil'ev A.A., Gravis A.G., Gubar'kov A.A., Drozdov D.S., Korostelev Yu.V., Malkova G.V., Oblovov G.E. [et al.]. Permafrost degradation: results of the long-term geocryological monitoring in the western sector of Russian Arctic. *Kriosfera zemli*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 15–30 (in Russian).
22. Perel'shtein G.Z., Pavlov A.V., Buisikh A.A. Changes in the permafrost zone upon the modern climate warming. *Geokologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2006, no. 4, pp. 305–312 (in Russian).
23. Biskaborn B.K., Smith S.L., Noetzi J., Matthes H., Vieira G., Streletskiy D.A., Schoeneich P. [et al.]. Permafrost is warming at a global scale. *Nature Communication*, 2019, vol. 16, no. 10 (1), pp. 264. DOI: 10.1038/s41467-018-08240-4
24. Turetsky M.R., Abbott B.W., Jones M.C., Walter Anthony K., Olefeldt D., Schuur E.A.G., Koven C. [et al.]. Permafrost collapse is accelerating carbon release. *Nature*, 2019, vol. 569, no. 7754, pp. 32–34. DOI: 10.1038/d41586-019-01313-4
25. Iglovskii S.A., Shavrina E.V., Shvartsman Yu.G. Razvitiye geokriogennykh protsessov na territorii Belomorsko-Kuloiskogo plato Arkhangel'skoi oblasti [Geocryological processes development on the Belomorsko-Kuloyskoye plateau in Arkhangelsk region]. *Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 25-letiyu GPZP Arkhangel'sk*, 1999, pp. 52–54 (in Russian).
26. Stella E., Mari L., Gabrieli J., Bertuzzo E. Permafrost dynamics and the risk of anthrax transmission: a modelling study. *Sci. Rep.*, 2020, no. 10, pp. 16460. DOI: 10.1038/s41598-020-72440-6
27. Buravtseva N.P., Mezentshev V.M., Ryazanova A.G., Golovinskaya T.M., Degtyarev D.Yu., Pazenko A.N., Semenova O.I., Kulichenko A.N. Use of geographic information systems for creation of electronic database of anthrax burial sites in the Stavropol territory. *Problemy osobo opasnykh infektsii*, 2019, no. 4, pp. 31–36 (in Russian).
28. Oberman N.G., Lygin A.M. Prognosis of the degradation of permafrost in an example of European north-east of Russia. *Razvedka i okhrana nedr*, 2009, no. 7, pp. 15–20 (in Russian).

Iglovsky S.A., Kriauciunas V.V. Anthrax cattle burials as a potential threat caused by changes in cryolite zones in the Northern European part of Russia. Health Risk Analysis, 2021, no. 1, pp. 108–114. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.11.eng

Получена: 04.12.2020

Принята: 03.03.2021

Опубликована: 30.03.2021

УДК 614.2., 614.3, 614.7., 614.9., 574.9., 551.582., 551.583.
DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.12

Читать
онлайн



Научная статья

ЗОНИРОВАНИЕ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РАЙОНОВ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ СКОТОМОГИЛЬНИКОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕГРАДАЦИИ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Б.А. Ревич¹, Д.А. Шапошников¹, С.Р. Раичич², С.А. Сабурова², Е.Г. Симонова³

¹Институт народнохозяйственного прогнозирования, Россия, 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, 47

²Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии, Россия, 111123, г. Москва, ул. Новогиреевская, 3а

³Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Россия, 119991, г. Москва, ул. Большая Пироговская, 2/6

Меняющийся климат уже привел к постепенному разрушению активного верхнего слоя многолетней мерзлоты в результате повышения средних летних температур воздуха. Сибирская язва является примером климатозависимой бактериальной инфекции, распространитель которой образует споры, сохраняющие жизнеспособность в течение длительного времени во время криптобиоза в многолетнемерзлых породах. Заметная деградация многолетней мерзлоты уже наблюдается в большинстве арктических регионов России и может привести к разрушению сибиреязвенных скотомогильников, что увеличит риск будущих инфекций среди домашних животных и людей, проживающих на этих территориях.

Исследовано зонирование муниципальных районов с целью объединения данных о многолетней мерзлоте, количестве сибиреязвенных скотомогильников, тенденциях повышения среднелетних температур и плотности населения.

Два коэффициента относительной опасности разработаны для характеристики вероятности вспышек сибирской язвы среди животных и местного населения. На основании численных значений этих коэффициентов районы Арктического макрорегиона (70 административных районов в 15 субъектах РФ) были расположены в порядке убывания риска инфекции. Разработаны две балльные шкалы относительной опасности, которые показали, что наивысший популяционный риск характерен для городских округов, поскольку в них плотность населения гораздо больше, чем в сельских районах. Проведенные вычисления должны помочь в расстановке приоритетов при разработке профилактических мероприятий в эндемичных по сибирской язве арктических и субарктических территориях. Также важна актуализация перечня скотомогильников, дальнейшая разработка пространственно-временных моделей возникновения вспышек сибирской язвы с учетом потепления климата и деградации многолетней мерзлоты.

Ключевые слова: Арктика, Якутия, потепление климата, многолетняя мерзлота, риски здоровью населения, скотомогильники, сибирская язва.

Термин «вечная мерзлота» (ВМ) как специфическое геологическое явление был введен в научное употребление в 1927 г. основателем школы советских мерзлотоведов М.И. Сумгиным. Современными мерзлотоведами для обозначения той части

верхнего слоя земной коры с отрицательными температурами почв и горных пород, где отсутствует периодическое протаивание, используется профессиональный термин «криолитозона». В последние годы в связи с потеплением климата и разрушением

© Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Раичич С.Р., Сабурова С.А., Симонова Е.Г., 2021

Ревич Борис Александрович – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник и заведующий лабораторией прогнозирования качества окружающей среды и здоровья населения (e-mail: brevich@yandex.ru; тел.: 8 (499) 129-18-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7528-6643>).

Шапошников Дмитрий Анатольевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории прогнозирования качества окружающей среды и здоровья населения (e-mail: dshap2014@gmail.com; тел.: 8 (499) 129-36-33; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9191-1974>).

Раичич Стефан Радолуб – младший научный сотрудник лаборатории эпидемиологии природно-очаговых инфекций (e-mail: anthraxcrie@gmail.com; тел.: 8 (495) 672-11-73; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7734-7382>).

Сабурова Светлана Александровна – кандидат медицинских наук, научный сотрудник лаборатории эпидемиологии природно-очаговых инфекций (e-mail: anthraxcrie@gmail.com; тел.: 8 (495) 672-11-73; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9332-0526>).

Симонова Елена Геннадиевна – доктор медицинских наук, профессор кафедры эпидемиологии и современных технологий вакцинопрофилактики (e-mail: simonova_e_g@mail.ru; тел.: 8 (495) 602-12-75; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7179-9890>).

криолитозоны применяется новое сочетание слов – многолетние мерзлые грунты (ММГ) или породы (ММП), которые в данной статье употребляются как синонимы. Изменения климата в Российской Арктике происходят быстрее, чем в среднем по планете. Линеаризация тренда среднегодовой температуры Северной полярной области дает в четыре раза более высокую скорость потепления за последний 40-летний период (1976–2018 гг.), чем глобальное среднее значение [1]. При относительно невысоких темпах потепления его влияние на многолетнюю мерзлоту будет несущественным, но при более высоких темпах будет наблюдаться активизация деструктивных криогенных процессов [2]. Интенсивное потепление климата приводит к постепенному увеличению температуры приповерхностного слоя многолетней мерзлоты. Так, Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) считает, что этот слой к 2100 г. уменьшится на 90 %, причем на 20 % этой территории может произойти его более быстрое разрушение [3, 4]. Сценарии значительного потепления климата распространяются на территорию многолетней мерзлоты лишь с учетом самых общих ее свойств. Существующие оценки потепления зависят как от региона (области интереса), так и от сценария выбросов парниковых газов и аэрозолей. О величине и разбросе ожидаемых на Российском Севере изменений можно судить по таким модельным оценкам: согласно «умеренному» сценарию выбросов RCP4.5 к концу текущего столетия по сравнению с декадой 1990–1999 гг. среднелетняя температура воздуха в Архангельске может повыситься на 3,0 °C, а в Якутске на 2,0 °C; для сценария быстрого роста выбросов RCP8.5 аналогичные оценки составили в Архангельске 5,0 °C, а в Якутске 3,3 °C [5]. Вероятно, мерзлота будет оттаивать и со временем сохранится только в высоких горах и на равнинах севера Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Большинство мерзлотоведов говорят о деградации ВМ в том случае, если хотя бы в части геокринологического разреза (обычно верхней) среднегодовая температура пород стала положительной [6]. Однако в данном исследовании будет рассмотрена динамика среднелетних температур, хотя они растут в приполярных районах медленнее, чем среднегодовые. Интерес к летним температурам вызван тем, что именно в это время года определяется наиболее критический случай деградации мерзлоты, когда наблюдается устойчивое оттаивание верхнего горизонта и опускание кровли ММП. Прогнозы влияния последних на деградацию ММГ отличаются большим разбросом. Увеличение среднегодовой глобальной температуры воздуха на 2,0 °C приведет к полному оттаиванию мерзлых пород на 15–20 % этой территории, но по другим прогнозам данному явлению будет подвержена еще большая часть этой территории – до 25–65 % [7, 8].

Территория ММГ в Арктическом макрорегионе – это север Европейской России (НАО), Урала (Свердловская область), Западной Сибири (Ямал), большей части Восточной Сибири (Красноярский край, Республика Саха (Якутия)), Дальнего Востока (Чукотский АО, Камчатский край). Тенденции к повышению температуры верхних горизонтов мерзлых грунтов вслед за потеплением климата доказаны большим объемом наблюдений за температурой грунтов в условиях сплошной и прерывистой криолитозоны в этих регионах. За 1961–2003 гг. температура грунтов на глубине 1,6 м повысилась по сравнению с нормой на 0,1–1,2 °C. При изучении температуры ММГ за 30-летний период на специальных геокринологических стационарах выявлено, что даже в пределах одного административного района показатели изменения температуры значительно различаются [9].

Риски природно-очаговых инфекций. Изменения зон многолетней мерзлоты напрямую связаны с рисками природно-очаговых инфекций, в частности ассоциированных со спорообразующими бактериями. Исследования последних лет показали возможность длительного сохранения жизнеспособных прокариотных и эукариотных микроорганизмов в условиях постоянных отрицательных температур многолетнемерзлых толщ, возраст которых составляет от нескольких тысяч до 2–3 млн лет. Из многолетнемерзлых отложений выделены аэробные и анаэробные бактерии и мицелиальные грибы [10–12]. В ходе масштабных исследований по изучению сообществ палеоорганизмов вечной мерзлоты были выделены жизнеспособные цисты свободноживущих простейших, находившихся в состоянии криптиобиоза в течение десятков и сотен тысяч лет, что свидетельствует о возможности активации возбудителей инфекционных заболеваний, сохраняющихся в почве на протяжении продолжительного времени при изменении климата северных регионов Российской Федерации [13]. По данным международных исследований в некоторых регионах Швеции, Норвегии, Финляндии и Российской Федерации все более значимыми становятся геморрагическая лихорадка с почечным синдромом, клещевой энцефалит, болезнь Лайма и карельская лихорадка, вызываемая вирусом Синдбис, относящиеся к климатозависимым инфекционным заболеваниям. Климатические изменения могут быть причиной дополнительного риска заражения не только за счет расширения ареала переносчиков инфекционных возбудителей, но и улучшения условий их зимовки, то есть повышения зимних температур и уменьшения толщины снежного покрова [14, 15].

Сибирская язва как климатозависимая микробная инфекция. На севере страны в период XVII – первой половины XIX в. наблюдались эпидемические вспышки оспы, холеры, сибирской язвы. Захоронение животных, погибших от этих заболеваний, производилось в скотомогильники, но иногда тела

таких животных могли оставаться на поверхности земли: только на Ямале зарегистрировано более 60 таких «падежных мест» [16]. Интерес к возбудителю сибирской язвы в контексте потепления климата в российской криолитозоне связан с тем, что в условиях многолетней мерзлоты споры *Bacillus anthracis* устойчивы и сохраняются в жизнеспособном состоянии в течение 80–100 лет и более. На территории Российской Арктики находится 520 «официальных» скотомогильников, в которых размещались трупы оленей и других животных, павших от сибирской язвы, но в более поздней публикации сообщается только о 285 зарегистрированных могильников, причем ветеринарно-санитарным требованиям соответствует только 64 захоронения¹ [17]. Некоторые авторы считают, что большинство скотомогильников не соответствуют санитарным и ветеринарным требованиям из-за недостаточного взаимодействия между эпидемиологической и ветеринарной службами, утраты описаний захоронений, эпизоотологических карт и т.п. [18, 19]. Кроме того, как считают специалисты по инфекционным заболеваниям животных, негативную роль в учете и сохранении сибиреязвенных скотомогильников сыграли многочисленные реорганизации ведомств, ответственных за эту проблему [20].

Согласно перечню скотомогильников оленей, погибших от сибирской язвы, наибольшее их число находится в Якутии (230), Архангельской области (84), республиках Карелия (48) и Коми (28)¹. В Якутии к 2019 г. зарегистрировано 739 эпизоотий сибирской язвы среди северных оленей и лошадей, они возникали практически каждые 10 лет, и последняя вспышка произошла в 1993 г. [21]. Из 35 административных районов этой республики эпизоотии отмечены в 29 районах, причем заболели не только животные, но и люди, заразившиеся в основном от крупного рогатого скота и оленей [22]. Такие детальные эпизоотолого-эпидемиологические исследования в Арктическом макрорегионе пока проведены только по Республике Саха (Якутия) [23].

На возможную опасность повторного появления сибирской язвы при таянии многолетней мерзлоты в исторических местах захоронения скота указано в работе В. Revich, М. Podolnaya [24]. Примером является масштабная эпизоотия сибирской язвы в 2016 г. в ЯНАО, приведшая к вспышке заболевания. Территория Западной Сибири, расположенная за Полярным кругом, много лет являлась крайне неблагоприятной по сибирской язве – на ней зарегистрировано более 70 крупных эпизоотий, причем фиксировались случаи сибирской язвы и у людей. Длительное эпизоотическое благополучие и мнимое представление о самосаниации очагов привели к прекращению вакцинации оленей против сибирской

язвы начиная с 2007 г. На Ямале лето 2016 г. стало самым жарким за 150-летнюю историю наблюдений, температура в отдельные дни была примерно на 12 °C выше нормы, среднемесячные температуры превышали средние многолетние значения на 6,7 °C в июне и на 5,7 °C в июле, что привело к рекордному увеличению глубины сезонного таяния многолетней мерзлоты до двух метров [25]. Весьма вероятно, что аномальная жара способствовала вегетации сибиреязвенного микроба в глубинных слоях с перемещением к поверхности почвы с межмерзлотными водами, что привело к возникновению крупнейшей эпизоотии среди северных оленей с момента начала регистрации случаев сибирской язвы. Из-за контакта коренных народов с сырым мясом произошла вспышка этого заболевания, пострадало 24 человека, один 12-летний подросток умер от алиментарного заражения [26]. По данным Россельхознадзора, за период с 2010 по 2016 г. в стране выявлены 33 вспышки этого заболевания [27]. Редкие случаи сибирской язвы среди оленей происходят также в странах Скандинавии и Канаде, но они не затрагивают людей. Это объясняется более высоким уровнем знаний населения, регулярными вакцинациями и актуальными картами моровых полей [28].

Данных о пространственно-статистической связи между темпами деградации ВМ и вспышками сибирской язвы в арктическом макрорегионе РФ пока не обнародовано. В данной работе предпринята попытка создать простейшую модель возможной связи, объединив сведения о темпах деградации ММГ, числе сибиреязвенных захоронений и плотности населения по муниципальным районам на всей территории российской криолитозоны с целью вычисления некоторого количественного «коэффициента опасности» повторных вспышек сибирской язвы в ходе потепления климата. При этом территориальной единицей исследования был выбран административный район, что позволило (после соответствующих вычислений) ранжировать все районы по относительной опасности заболевания для местного населения. Таким образом, целью исследования является зонирование всех территорий Российской Арктики по этому показателю. Подчеркнем, что речь пока не идет о вычислении риска или вероятности вспышек сибирской язвы – для этого понадобились бы гораздо более сложные модели экологических ниш возбудителя этого заболевания. Однако, имея достаточную статистику о наблюдавшихся в последние 60 лет вспышках болезни, можно будет проверить результаты наших вычислений апостериорно.

Материалы и методы. Область исследования. Исследование охватывало только те муниципальные районы, на территории которых присутствует сплошная, прерывистая или островная ВМ и при

¹ Кадастр стационарно неблагополучных по сибирской язве пунктов Российской Федерации: справочник / под ред. Б.Л. Черкаского. – М.: ОАО «Интерсэп», 2005. – 829 с.

этом определяются сибироязвенные захоронения согласно «Геоинформационной базе данных о стационарно-неблагополучных по сибирской язве населенных пунктах (СНП)»¹. В этой базе данных территориальными органами Роспотребнадзора учтены населенные пункты или иные территории, в которых когда-либо в прошлом возникали случаи сибирской язвы у животных или людей. Согласно рекомендациям Роспотребнадзора, вся территория СНП считается потенциально неблагополучной и признается как почвенный очаг. Всего в исследование были включены 70 муниципальных районов из 15 субъектов РФ (табл. 1). Отметим, что в кадастре также приводятся данные о числе лет активности СНП, однако они не использованы при вычислении коэффициентов опасности по двум причинам. Во-первых, для некоторых субъектов РФ эти данные не были доступны, во-вторых, в кадастре для некоторых СНП сообщается о нулевом числе лет активности.

Таблица 1

Перечень субъектов РФ и количество муниципальных районов, включенных в исследование

Субъект РФ	Число районов
Мурманская область	1
Архангельская область	2
Республика Коми	11
Коми-Пермяцкий АО*	4
НАО	1
ХМАО	4
ЯНАО	3
Таймырский (Долгано-Ненецкий АО)	3
Красноярский край	8
Республика Саха (Якутия) **	28
Чукотский АО***	1
Эвенкийский АО***	1
Корякский АО***	1
Магаданская обл.***	1
Камчатский край	1

Примечание:

* – в том числе Чусовской городской округ Пермского края;

** – объединенные данные из источников [17, 25]. Если данные о числе СНП присутствовали в обоих источниках, то бралось наибольшее из двух чисел, а не их сумма;

*** – эти регионы брались как неделимые территории наравне с районами других субъектов РФ.

Коэффициенты опасности. Для каждого района были вычислены два коэффициента опасности: территориальный и популяционный. Территориальный коэффициент опасности HQ_{terr} характеризует опасность активации возбудителя сибирской язвы

на территории данного района, а популяционный коэффициент HQ_{pop} – опасность вспышки сибирской язвы среди местного населения.

Согласно принятой авторами простейшей модели, HQ_{terr} должен быть пропорционален двум величинам. Одна характеризует количество возбудителя сибирской язвы в многолетней мерзлоте в «спящем» состоянии (криптобиозе), а другая – скорость повышения температур ММП в данном районе как триггер вероятной активации возбудителя в результате протаивания ВМ в летние месяцы и размораживания скотомогильников. Первая величина – число СНП на территории района (N), вторая величина – повышение летних температур ММП за последние 60 лет:

$$HQ_{terr} = N \cdot \Delta T_{ММП}; \quad (1)$$

$$\Delta T_{ММП} = \Delta T_{возд} \cdot k, \quad (2)$$

где $\Delta T_{возд}$ – тренд летних температур воздуха, который вычисляется следующим образом: находится ближайшая к данному административному району метеостанция, и для нее вычисляется средняя температура за три летних месяца (июнь–август), далее вычитываются многолетние средние этой величины за два периода: 1960–1989 и 1990–2019 гг. Разница средних летних температур воздуха между этими двумя периодами и будет характеризовать скорость потепления $\Delta T_{возд}$. Такую величину можно приблизительно интерпретировать как повышение температур между серединами периодов, то есть за 30 лет (1975–2005 гг.). Данные о среднемесячных температурах были взяты с веб-сайта Всероссийского НИИ гидрометеорологической информации², где доступны данные наблюдений за погодой с 518 метеостанций. Местные метеостанции, не входящие в систему наблюдений Росгидромета, не рассматривались.

Коэффициент чувствительности многолетней мерзлоты к потеплению климата k есть отношение изменения температуры ММП на глубине около 10 м к изменению температуры воздуха в приповерхностном слое. На этой глубине сезонные колебания температур ММП практически отсутствуют (глубина нулевых сезонных амплитуд) [6]. Отметим, что нормативная глубина сибироязвенного скотомогильника или биотермической ямы согласно ветеринарно-санитарным правилам³ тоже равна 10 м. К сожалению, на основании доступных данных о многочисленных сибироязвенных скотомогильниках невозможно судить о распределении их по глубинам залегания в ММП: реальные глубины могут составлять от 2 м (моревые поля, земляные ямы) до 10 м (оборудованные скотомогильники). Величины «коэффициента запаздывания» k для всей криолитозоны Рос-

² Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс] // Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации. – URL: www.meteo.ru (дата обращения: 12.09.2020).

³ Ветеринарно-санитарные правила сбора, утилизации и уничтожения биологических отходов от 04.12.1995 № 13-7-2/469 [Электронный ресурс] // Россельхознадзор. – URL: <https://fsvps.gov.ru/fsvps/laws/165.html> (дата обращения: 12.09.2020).

сийской Арктики были вычислены путем интерполяции картографических данных об изолиниях пространственного распределения этой величины, приведенных в презентации⁴. Эта величина изменяется от 0,3 до 0,8 и в данном исследовании может быть вычислена с шагом 0,05, что накладывает принципиальное ограничение на точность его конечных результатов. Строго говоря, при вычислении $\Delta T_{MMГ}$ на глубине нулевых сезонных амплитуд корректно использовать среднегодовые температуры, однако в данной работе более актуально применять среднелетние температуры, по нашему мнению, теснее связанные с опасностью размораживания возбудителя сибирской язвы. Например, во время рекордно жаркого лета 2016 г. на Ямале была отмечена рекордная глубина сезонного протаивания ВМ – до 2 м. Это на 10 см больше, чем в предыдущие периоды [26].

Популяционный коэффициент опасности HQ_{pop} предполагается пропорциональным плотности населения района. Алгебраическая связь между HQ_{terr} и HQ_{pop} аналогична таковой между индивидуальным и популяционным риском:

$$HQ_{pop} = HQ_{terr} \cdot pop/S, \quad (3)$$

где pop – численность населения района по данным последней переписи; S – площадь района. Полезным упрощением является то, что формула (3) не учитывает влияния показателей соседних районов, которые, разумеется, должны влиять на реальную опасность сибирской язвы для населения. Формулу (3) можно интерпретировать и по-другому:

$$HQ_{pop} = (\Delta T_{MMГ} \cdot N/S) \cdot pop,$$

где выражение в скобках есть поверхностная плотность источников опасности, а pop – все экспонированное население.

Подчеркнем, что оба коэффициента опасности – HQ_{terr} и HQ_{pop} – используются только для сравнения различных территорий, их абсолютные численные значения не имеют физического смысла. Поэтому для более понятной интерпретации результатов вычислений в следующем разделе введем также и безразмерную «балльную шкалу» для HQ_{terr} . Согласно формуле (3), в некоторых городских округах можно ожидать аномально высоких значений HQ_{pop} , поскольку их площадь очень мала по сравнению с площадью типичного сельского района. Это будет в тех случаях, когда площадь городского округа совпадает с компактным городским поселением (например Нарьян-Марский, Сыктывкарский, Лесосибирский). Не все городские округа имеют небольшую площадь, некоторые из них, согласно административному делению, включают и прилегающие сельские территории. Отметим, что иногда город, по имени которого назван район, административно

в этот район не входит. Например, города Кудымкар, Ханты-Мансийск, Минусинск не входят в одноименные районы, так же, как Норильск не входит в Таймырский АО. Во всех таких случаях данные о численности населения района брались согласно современному административному делению, что, конечно, повлияло на вычисление плотности населения и ранжирование полученных значений HQ_{pop} .

Результаты и их обсуждение. Поиск ближайшей метеостанции потребовал работы с картами местности. Из 70 муниципальных районов, включенных в исследование, около половины (36) районов имели свои «собственные» метеостанции (расположенные внутри либо на границе района) и 34 района не имели таковых. Рекордсменами по удаленности ближайшей метеостанции от границ района стали Абанский район Красноярского края (200 км), Гайнский и Косинский районы КПАО (160 и 170 км).

За период исследования наибольшее повышение среднелетних температур воздуха установлено метеостанцией Салехарда (1,48 °C), а наименьшее – метеостанцией Мурманска (0,43 °C). Важно, что температуры растут повсеместно. При вычислении изменений температур ММГ по формуле (2) наибольшее и наименьшее изменения установлены в тех же местах: в Приуральском районе ЯНАО (+1,0 °C) и Кольском районе Мурманской обл. (+0,2 °C).

На основании доступных нам данных о числах СНП в каждом муниципальном районе российской криолитозоны наибольшее их число зафиксировано в Среднеколымском и Мирнинском районах Якутии (30 и 29).

Ранжирование районов по величинам вычисленных территориальных и популяционных коэффициентов опасности приведено в табл. 2.

Безразмерная шестибальная шкала опасности была введена для территориального коэффициента HQ_{terr} , исходя из реально вычисленных значений этого коэффициента, с целью более компактного представления результатов исследования и информирования заинтересованных лиц. Анализ распределения значений HQ_{terr} показал, что максимальное значение этого коэффициента (21,26 для Среднеколымского района Якутии) является выпадающим значением. Остальные значения изменяются от 0,17 до 13,24, то есть различаются менее чем на два порядка величины. Весь диапазон изменения HQ_{terr} после исключения выпадающего значения равен $13,24 - 0,17 = 13,07$. Этот диапазон был разделен на шесть равных отрезков, при этом порядковый номер отрезка и был принят равным опасности в баллах. Ширина каждого отрезка при таком разбиении равна 2,18 единицы HQ_{terr} . Согласно равномерной шкале, всем значениям HQ_{terr} от минимального до 2,35 присваивается 1 балл, от 2,36 до 4,53 – 2 балла и так

⁴ Осипов В.И., Сергеев Д.О. Влияние размораживания вечной мерзлоты на функционирование инфраструктуры в районе Крайнего Севера: презентация на заседании научно-технического совета Росприроднадзора № 2 от 25 июня 2020 г. – М., 2020.

Таблица 2

Ранжирование муниципальных районов по территориальному и популяционному коэффициентам опасности сибирской язвы

Территориальный коэффициент			Популяционный коэффициент		
Субъект РФ	Муниципальный район	HQ_{terr} баллы	Муниципальный район	HQ_{pop} баллы	
Якутия-Арктика*	Среднеколымский	21,26	Нарьян-Марский г.о.	6747,26	6
Запад Якутии	Мирнинский	13,24	Сыктывкарский г.о.	436,80	5
Запад Якутии	Нюрбинский	12,45	Якутский г.о.	357,38	
Ненецкий АО	Нарьян-Марский г.о.	12,32	Лесосибирск г.о.	75,85	4
Таймырский АО	Дудинский г.о.	11,36	Чусовской г.о.	17,71	
Таймырский АО	Усть-Енисейский	9,54	Ухта г.о.	17,46	
Восток Якутии	Оймяконский	9,13	Намский	14,75	
Чукотский АО	Чукотский АО	9,08	Усть-Алданский	9,98	
Центр Якутии	Усть-Алданский	8,76	Сосногорский	6,78	
Центр Якутии	Амгинский	8,20	Мирнинский	5,76	
Запад Якутии	Вилуйский	8,19	Нюрбинский	5,69	
Ханты-Мансийский АО	Ханты-Мансийский	8,07	Чурапчинский	5,53	
Корякский АО	Корякский АО	8,02	Хангаласский	5,22	
Эвенкийский АО	Эвенкийский АО	7,61	Амгинский	4,66	
Центр Якутии	Горный	7,45	Минусинский	4,40	3
Магаданская область	Магаданская обл.	7,16	Вилуйский	3,71	
Центр Якутии	Намский	7,12	Ханты-Мансийский	3,51	
Запад Якутии	Верхневилуйский	6,82	Верхневилуйский	3,41	
Центр Якутии	Кобяйский	6,82	Кудымкарский	3,21	
Якутия-Арктика	Оленекский	6,13	Абанский	3,06	
Юг Якутии	Олекминский	4,96	Сыктывдинский	2,69	
Ямало-Ненецкий АО	Ямальский	4,54	Мегино-Кангаласский	2,31	
Запад Якутии	Сунтарский	4,39	Краснотуранский	2,20	
Центр Якутии	Хангаласский	3,94	Магаданская обл.	2,17	
Центр Якутии	Якутский г.о.	3,83	Надымский	2,05	
Центр Якутии	Чурапчинский	3,29	Горный	1,96	
Ямало-Ненецкий АО	Надымский	3,17	Саянский	1,95	2
Республика Коми	Сосногорский	2,64	Таттинский	1,82	

далее. В последний отрезок попадают все значения от 11,07 до максимального. Такая шкала является линейной, то есть районы, имеющие 2 балла, приблизительно в два раза опаснее районов, имеющих 1 балл. Районы, оцененные в 3 балла, приблизительно в три раза опаснее однобалльных, и так далее. Поэтому балльная шкала значительно облегчает восприятие результатов исследования. Разумеется, такое представление об относительной опасности справедливо лишь в рамках принятой нами простейшей «модели размораживания» возбудителя сибирской язвы, а реальный риск активации возбудителя мы вычислить пока не можем. Для определения наиболее относительно опасных муниципальных районов по балльной шкале выделены районы с коэффициентом опасности 2 балла и более. Всего таких районов 28, или 40 % от всех районов, включенных в исследование.

Для популяционного коэффициента опасности нет смысла вводить линейную балльную шкалу, пото-

му что значения этого коэффициента варьируются слишком сильно – от минимального значения 0,02 в Хатангском районе ТАО до максимального 6747,26 в Нарьян-Марском городском округе НАО. Эти значения различаются более чем на пять порядков величины. В этом случае для обсуждения результатов исследования удобнее будет ввести десятичную логарифмическую балльную шкалу опасности по формуле (4)

$$S = 1 + \lg(HQ/HQ_{min}), \quad (4)$$

где S – опасность в баллах. Поскольку минимальное значение $HQ_{pop} = 0,02$, то формула (4) приводит к следующему правилу для дискретной шкалы: всем значениям HQ_{pop} от 0,02 до 0,2 присваивается один балл, значениям от 0,2 до 2,0 – 2 балла, от 2,0 до 20 – 3 балла и так далее. При этом районы, имеющие 2 балла, приблизительно в 10 раз опаснее районов, имеющих 1 балл. Районы, имеющие 3 балла, приблизительно в 100 раз опаснее однобалльных.

Поскольку логарифмическая шкала опасности введена лишь для удобства, то она должна отвечать нашему интуитивному, субъективному восприятию опасности. Отметим, что десятичная логарифмическая шкала также применяется для выражения опасности землетрясения (сейсмическая шкала Меркалли) и даже в более экзотических случаях, например Палермская шкала астероидной опасности. Поскольку речь идет о восприятии опасности, то формула (4) является частным случаем «основного психофизического закона» Вебера – Фехнера, опубликованного еще в 1860 г.:

$$S = a \ln I + b, \quad (5)$$

где S – интенсивность воспринимаемого нами ощущения, I – сила раздражителя, a и b – константы. Все эти аналогии служат лишь для обоснования разумности введения логарифмической шкалы относительной опасности сибирской язвы для населения изучаемых нами районов, что является целью данной работы.

Как видно из табл. 2, городские округа с наивысшими классами опасности СЯ для населения (4–6 баллов) имеют необычно высокие значения HQ_{pop} , которые являются «выпадающими» из в целом плавного распределения: это Нарьян-Марский (6 баллов), Сыктывкарский и Якутский (5 баллов), Лесосибирский (4 балла) районы. Остальные имеют опасность, оцененную в 1–3 балла, причем количество районов в каждом классе опасности соизмеримо между собой: 15 районов имеют 1 балл, 30 районов – 2 балла и 21 район – 3 балла. Из трехбалльных районов к наиболее проблемным территориям следует также отнести четыре верхних позиции: Чусовской и Ухтинский городского округа, Намский и Усть-Алданский районы Якутии, поскольку значения HQ_{pop} для этих территорий составляют более 1 % от максимального.

Для популяционного коэффициента опасности балльная шкала не используется, так как значения этого коэффициента значительно варьируются (различаются более чем на пять порядков величины) – от минимального значения 0,02 в Хатангском районе ТАО до максимального 6747,26 в Нарьян-Марском городском округе НАО. В качестве отправного шага при ранжировании районов по коэффициенту HQ_{pop} использовано значение этого коэффициента менее 1 ‰ (промилле) от максимального (в данном случае HQ_{pop} менее 7,0). Таким образом, к наиболее проблемным территориям относятся шесть городских округов: Нарьян-Марский, Сыктывкарский, Якутский, Лесосибирский, Чусовской, Ухтинский и два района Якутии: Намский и Усть-Алданский. Поскольку городские округа лидируют по показателю HQ_{pop} , то уместен вопрос: действительно ли указанные в кадастре СНП расположены на территориях этих округов? Следует отметить, что указанные в кадастре муниципальные районы в настоящее время могут не совпадать с современными

одноименными городскими округами. Так, с 2004 г. в состав Нарьян-Марского городского округа вошел районный поселок Искателей, который затем вошел в Заполярный район. Ухтинский район существовал с 1939 по 1963 г. в составе Коми АССР, Чусовской район существовал с 1964 по 2004 г. в составе Пермской области, однако сам город в него не входил.

Порядок ранжирования районов по показателю территориальной опасности отличается от порядка ранжирования по показателю популяционной опасности – для лиц, принимающих решения, будут важны оба показателя.

Именно в приоритетных по опасности сибирской язвы районах целесообразно опробовать современные математические модели распространения палеобиозагрязнений. Примером такой модели является метод геометрической стратификации, позволивший разработать схему оценок палеобиозагрязнения при деградации многолетней мерзлоты. Авторы этого метода выявили самый высокий риск по Ямалу и северо-восточным районам Якутии [29]. Результаты данного исследования подтверждают этот вывод в отношении Якутии (наивысший территориальный коэффициент опасности установлен для Среднеколымского района Арктической зоны Якутии, а также для Мирнинского и Нюрбинского районов Западной Якутии). Достоинство используемого в данном исследовании скрининг-метода в том, что он учитывает не только темпы роста температур ММГ, но и документированное количество скотомогильников во всех муниципальных районах, где присутствует вечная мерзлота.

Выводы. Негативные последствия изменения климата в Арктическом регионе определяют актуальность разработки различных методов адаптации. Для разработки рекомендаций по профилактике инфекционных заболеваний, в том числе природно-очаговых, необходима информация о территориях, на которых наиболее интенсивно происходит повышение летних температур и деградация ММГ. Для выявления наиболее опасных территорий следует продолжить детальные почвенно-климатические исследования, позволяющие выявить площади с выраженной деформацией многолетней мерзлоты. Поскольку максимальное увеличение летних температур прогнозируется вблизи Арктического побережья Центральной Сибири, то на этой территории в первую очередь будет необходим микробиологический мониторинг текущего состояния скотомогильников, находящихся в ВМ на различных глубинах – от 2 до 10 м. Кроме скотомогильников трупы инфицированных павших оленей могут находиться на необорудованных местах, так называемых моровых полях, координаты которых должны быть в распоряжении ветеринарной службы. Несмотря на создание указанного кадастра сибироязвенных скотомогильников, изданного 15 лет назад, необходима постоянная его актуализация, так как в Арктическом макроре-

гионе находится более 1 млн домашних и около 1 млн диких оленей. Интенсивное освоение арктического пространства в период значительного потепления климата при отсутствии точной информации о местах дислокации сибирезвенных скотомогильников и моровых полей может привести к возникновению новых вспышек этого особо опасного заболевания. В результате различных стихийных бедствий, потепления климата и деградации многолетних мерзлых грунтов, земляных и иных работ возможно появление на поверхности инфекционных агентов. Можно согласиться с коллективом исследователей вспышки сибирской язвы на Ямале, что высокие температуры летом 2016 г. были не единственной ее причиной, важную роль сыграл необоснованный отказ от вакцинации населения и животных, низкий уровень информированности населения [30]. В этой статье, так же, как и в монографии [26], описаны различные меры профилактического характера. В

первую очередь необходимо пристальное внимание даже к единичным случаям сибирской язвы среди диких и домашних оленей в связи с формированием почвенных очагов инфекции и опасностью распространения заболевания. Поэтому так важны актуализация перечня скотомогильников, информирование населения об этом заболевании и мерах профилактики, продолжение вакцинации оленей. Необходима дальнейшая разработка пространственно-временных моделей возникновения вспышек сибирской язвы с учетом потепления климата и деградации многолетней мерзлоты в Российской Арктике.

Финансирование. Исследование проведено при поддержке гранта РФФИ 18-05-60146 «Медико-экологические факторы социально-экономического развития Российской Арктики: анализ и прогноз».

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

Список литературы

1. Эдельгериев Р.С.Х., Романовская А.А. Новые подходы к адаптации к изменениям климата на примере Арктической зоны Российской Федерации // *Метеорология и гидрология*. – 2020. – № 5. – С. 12–28.
2. Игловский С.А. Антропогенная трансформация мерзлотных условий Европейского севера России и ее последствия // *Арктика и Север*. – 2013. – № 10. – С. 107–1124.
3. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate IPCC 2019 Summary for Policymakers / Н.-О. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck [et al.] // *Summary for Policymakers*. – 2019. – P. 36.
4. Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems [Электронный ресурс] // IPCC. – 2019. – URL: <https://www.ipcc.ch/srccl/> (дата обращения: 12.09.2020).
5. Revich B.A., Shaposnikov D.A., Shkolnik I.M. Projections of temperature-dependent mortality in Russian subarctic under climate change scenarios: a longitudinal study across several climate zones // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* – 2020. – Vol. 606, № 012050. – P. 10. DOI: 10.1088/1755-1315/606/1/012050
6. Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геоэкологического мониторинга в западном секторе российской Арктики / А.А. Васильев, А.Г. Гравис, А.А. Губарьков, Д.С. Дроздов, Ю.В. Коростелев, Г.В. Малкова, Г.Е. Облогов [и др.] // *Криосфера Земли*. – 2020. – Т. 24, № 2. – С. 15–30. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-2 (15-30)
7. Nelson F.E., Anisimov O.F., Shiklomanov N.L. Subsidence risk from thawing permafrost // *Nature*. – 2001. – Vol. 19, № 410. – P. 889–890. DOI: 10.1038/35073746
8. Мохов И.И., Елисеев А.В. Моделирование глобальных климатических изменений в XX–XXIII веках при сценариях антропогенных воздействий RCP // *Доклады Академии наук*. – 2012. – № 6. – С. 732–736.
9. Павлов А.В., Малкова Г.В.. Мелкомасштабное картографирование трендов современных изменений температур грунтов на севере России // *Криосфера Земли*. – 2009. – Т. 13, № 4. – С. 32–39.
10. The deep cold biosphere: facts and hypothesis / E. Vorobyova, V. Soina, M. Gorlenko, N. Minkovskaya, N. Zalinova, A. Mamukelashvili, D. Gilichinsky, E. Rivkina, T. Vishnivetskaya // *FEMS Microbiol. Rev.* – 1997. – № 20. – P. 277–290. DOI: 10.1111/j.1574-6976.1997.tb00314.x
11. Biogeochemistry of methane and methanogenic archaea in permafrost / E. Rivkina, V. Shcherbakova, K. Laurinavichuis, L. Petrovskaya, K. Krivushin, G. Kraev, S. Pecheritsina, D. Gilichinsky // *FEMS Microbiol. Ecol.* – 2007. – Vol. 61, № 1. – P. 1–15. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2007.00315.x
12. Выживание микромицетов и актинобактерий в условиях длительной природной криоконсервации / Г.А. Кочкина, Н.Е. Иванушкина, С.Г. Карасев, Л.В. Гурина, Д.И. Евтушенко, С.М. Озерская, Е.Ю. Гавриш, Е.В. Спирина, Д.А. Гиличинский, Е.А. Воробьева // *Микробиология*. – 2001. – Т. 70, № 3. – С. 412–420.
13. Жизнеспособные простейшие в вечной мерзлоте Арктики / А.В. Шатилов, С.В. Шмакова, Д.А. Губин, Л.А. Гиличинский // *Криосфера Земли*. – 2010. – Т. 14, № 2. – С. 69–78.
14. Mills J.N., Gage K.L., Khan A.S. Potential influence of climate change on vector-borne and zoonotic diseases: a review and proposed research plan // *Environ. Health Perspect.* – 2010. – Vol. 118, № 11. – P. 1507–1514. DOI: 10.1289/ehp.0901389
15. Mapping climate change vulnerabilities to infectious diseases in Europe / J.C. Semenza, J.E. Suk, V. Estevez, K.L. Ebi, E. Lingren // *Environ. Health Perspect.* – 2012. – Vol. 120, № 3. – P. 385–392. DOI: 10.1289/ehp.1103805
16. Лайшев К.А., Забродин В.А. Проблемы ветеринарного благополучия по инфекционным болезням в Северном оленеводстве // *Farm Animals*. – 2012. – Т. 1, № 1. – С. 36–40.
17. Павлова С.Н., Барахова Л.Д. Риски возникновения чрезвычайных ситуаций на территории Республики Саха (Якутия) // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. – 2013. – Т. 9, № 47 (236). – С. 44–52.
18. Проблемы безопасности сибирезвенных скотомогильников / В.В. Галкин, М.Н. Локтионова, Е.Г. Симонова, О.С. Хадарцев // *Эпидемиология и инфекционные болезни*. – 2007. – № 6. – С. 55–57.

19. Гаврилов В.А. Перспективы решения проблемы биологической опасности сибирезавенных скотомогильников // Дезинфекция. Антисептика. – 2010. – Т. 1, № 3. – С. 12–15.
20. Гаврилов В.А., Грязнева Т.Н., Селиверстов В.В. Почвенные очаги сибирской язвы: реалии и проблемы // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2017. – № 8. – С. 17–22.
21. Дягилев Г.Т., Неустроев М.П. Эпидемиологическая и эпизоотическая ситуация по сибирской язве в Республике Саха (Якутия) // Ветеринария и кормление. – 2019. – № 7. – С. 11–13.
22. Каратаева Т.Д., Васильева А.А. Эпизоотическая обстановка по сибирской язве и ее профилактике в Республике Саха (Якутия) // Вестник ветеринарии. – 2007. – № 40–41. – С. 106–112.
23. Эпизоотолого-эпидемиологический мониторинг сибирской язвы в арктической и восточной зонах Якутии / Г.Т. Дягилев, В.Ф. Чернявский, И.Я. Егоров, О.Н. Софронова, О.И. Никифоров // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 95–105.
24. Revich B., Podolnaya M. Thawing of permafrost may disturb historic cattle burial grounds in East Siberia // Global Health Action. – 2011. – № 4. – P. 8482. DOI: 10.3402/gha.v4i0.8482
25. Летом 2016 г. на фоне крупной и продолжительной температурной аномалии в Ямало-Ненецком автономном округе наблюдается вспышка заболеваемости оленей сибирской язвой. Пресс-релиз 6 августа 2016 [Электронный ресурс] // Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля. – 2016. – URL: http://old.igce.ru/page/news_06082016 (дата обращения: 12.09.2020).
26. Опыт ликвидации вспышки сибирской язвы на Ямале в 2016 году / под ред. А.Ю. Поповой, А.Н. Куличенко. – Ижевск: ООО «Принт-2», 2017. – 313 с.
27. Теребова С.В. Мониторинговые исследования вспышек сибирской язвы // Аграрный вестник Приморья. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 42–47.
28. Суслопаров Г.А., Кузин А.А., Ланцов Е.В. Медико-географическая характеристика природных и социальных условий развития эпидемического процесса на территории Ямало-Ненецкого автономного округа // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2018. – № S1. – С. 196–199.
29. Перевертин К.А., Васильев Т.А. Экспессы рисков палеобиозагрязнения ландшафтов в условиях глобального потепления // Материалы VI Конференции «Математическое моделирование в экологии «ЭкоМатМод-2019». – 2019. – С. 158–160.
30. Сибирская язва на Ямале: оценка эпизоотологических и эпидемиологических рисков / Е.Г. Симонова, С.Ф. Картаева, А.В. Титков., М.Н. Локтионова, С.Р. Раичич, В.А. Толпин, Е.А. Лупян, А.Е. Платонов // Проблемы особо опасных инфекций. – 2017. – № 1. – С. 89–93.

Зонирование административных районов Российской Арктики по степени опасности разрушения скотомогильников в результате деградации многолетней мерзлоты / Б.А. Ревич, Д.А. Шапошников, С.Р. Раичич, С.А. Сабурова, Е.Г. Симонова // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 115–125. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.12

UDC 614.2., 614.3, 614.7., 614.9., 574.9., 551.582., 551.583.

DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.12.eng

Read
online



Research article

CREATING ZONES IN ADMINISTRATIVE DISTRICTS LOCATED IN THE RUSSIAN ARCTIC REGION SPECIFIC AS PER THREATS OF CATTLE BURIALS DECAY DUE TO PERMAFROST DEGRADATION

B.A. Revich¹, D.A. Shaposhnikov¹, S.R. Raichich², S.A. Saburova², E.G. Simonova³

¹Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences, 47 Nakhimovskii Ave., Moscow, 117418, Russian Federation

²Central Research Institute of Epidemiology, 3A Novogireevskaya Str., Moscow, 111123, Russian Federation

³I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, 2/6 Bol'shaya Pirogovskaya Str., Moscow, 119435, Russian Federation

Climatic changes have already resulted and will continue to result in gradual degradation of active upper layers in permafrost due to increased average air temperature in summer. Anthrax is an example of a climate-depending bacterial infection; anthrax agent creates spores that remain viable for a long period of time they spend in cryptobiosis in permafrost. Apparent permafrost degradation is already detected in most arctic regions in Russia and it can lead to anthrax burials decay thus creating elevated risks of the infection among farm animals and people who live on these territories.

Our research goal was to create specific zones in municipal districts via combining data on permafrost, number of anthrax cattle burials, ascending trends in average long-term temperatures, and population density.

We developed two relative hazard coefficients for characterizing anthrax outbreaks probability for animals and local population. Basing on numeric values obtained for these two coefficients, 70 administrative districts located in 15 RF sub-zones in the Arctic zone were listed in a descending order as per risks of the infection occurrence. We created two score scales showing relative hazard; they indicated that the highest population risk was typical for urban districts as population density there was much higher than in rural ones. Our calculations should be helpful for determining priorities when preventive activities are developed on arctic and sub-arctic territories that are endemic as per anthrax. It is also important to obtain an actual list of cattle burials and to develop spatial-time models showing anthrax outbreaks occurrence taking into account climatic warming and permafrost degradation.

Key words: Arctic, Yakutia, climate warming, permafrost, health risks, cattle burials, anthrax.

References

1. Edel'geriev R.S.Kh., Romanovskaya A.A. New approaches to the adaptation to climate change: the case of the arctic zone of Russia. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2020, no. 5, pp. 12–28 (in Russian).
2. Iglovskii S.A. Anthropogenic transformation of permafrost conditions of the European north of Russia and their consequences. *Arktika i Sever*, 2013, no. 10, pp. 107–1124 (in Russian).
3. Pörtner H.-O., Roberts D.C., Masson-Delmotte V., Zhai P., Tignor M., Poloczanska E., Mintenbeck K. [et al.]. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate IPCC 2019 Summary for Policymakers. *Summary for Policymakers*, 2019, 36 p.
4. Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems. *IPCC*, 2019. Available at: <https://www.ipcc.ch/srccl/> (12.09.2020).
5. Revich B.A., Shaposnikov D.A., Shkolnik I.M. Projections of temperature-dependent mortality in Russian subarctic under climate change scenarios: a longitudinal study across several climate zones. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2020, vol. 606, no. 012050, pp. 10. DOI: 10.1088/1755-1315/606/1/012050
6. Vasil'ev A.A., Gravis A.G., Gubar'kov A.A., Drozdov D.S., Korostelev Yu.V., Malkova G.V., Oblogov G.E. [et al.]. Permafrost degradation: results of the long-term geocryological monitoring in the western sector of Russian Arctic. *Kriosfera Zemli*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 15–30. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-2(15-30)
7. Nelson F.E., Anisimov O.F., Shiklomanov N.L. Subsidence risk from thawing permafrost. *Nature*, 2001, vol. 19, no. 410, pp. 889–890. DOI: 10.1038/35073746
8. Mokhov I.I., Eliseev A.V. Modelirovanie global'nykh klimaticheskikh izmenenii v XX–XXIII vekakh pri stsensariyakh antropogennykh vozdeystvii RCP [Modeling global climatic changes in the 20th–21st centuries under RCP anthropogenic impacts]. *Doklady Akademii nauk*, 2012, no. 6, pp. 732–736 (in Russian).
9. Pavlov A.V., Malkova G.V. Small-scale mapping of trends of the contemporary ground temperature changes in the Russian north. *Kriosfera Zemli*, 2009, vol. 13, no. 4, pp. 32–39 (in Russian).
10. Vorobyova E., Soina V., Gorlenko M., Minkovskaya N., Zalinova N., Mamukelashvili A., Gilichinsky D., Rivkina E., Vishnivetskaya T. The deep cold biosphere: facts and hypothesis. *FEMS Microbiol. Rev.*, 1997, no. 20, pp. 277–290. DOI: 10.1111/j.1574-6976.1997.tb00314.x
11. Rivkina E., Shcherbakova V., Laurinavichuis K., Petrovskaya L., Krivushin K., Kraev G., Pecheritsina S., Gilichinsky D. Biogeochemistry of methane and methanogenic archaea in permafrost. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 2007, vol. 61, no. 1, pp. 1–15. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2007.00315.x
12. Kochkina G.A., Ivanushkina N.E., Karasev S.G., Gurina L.V., Evtushenko D.I., Ozerskaya S.M., Gavrish E.Yu., Spirina E.V., Gilichinskii D.A., Vorob'eva E.A. Survival of micromycetes and actinobacteria under conditions of long-term natural cryopreservation. *Mikrobiologiya*, 2001, vol. 70, no. 3, pp. 412–420 (in Russian).
13. Shatilovich A.V., Shmakova S.V., Gubin D.A., Gilichinskii L.A. Viable protists in arctic permafrost. *Kriosfera Zemli*, 2010, vol. 14, no. 2, pp. 69–78 (in Russian).

© Revich B.A., Shaposnikov D.A., Raichich S.R., Saburova S.A., Simonova E.G., 2021

Boris A. Revich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Laboratory for Environment Quality Prediction and Population Health (e-mail: brevich@yandex.ru; tel.: +7 (499) 129-18-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7528-6643>).

Dmitry A. Shaposnikov – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior researcher at the Laboratory for Environment Quality Prediction and Population Health (e-mail: dshap2014@gmail.com; tel.: +7 (499) 129-36-33; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9191-1974>).

Stefan R. Raichich – Junior researcher at the Laboratory for Epidemiology of Natural Foci Infections (e-mail: anthracrie@gmail.com; tel.: +7 (495) 672-11-73; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7734-7382>).

Svetlana A. Saburova – Candidate of Medical Sciences, researcher at the Laboratory for Epidemiology of Natural Foci Infections (e-mail: anthracrie@gmail.com; tel.: +7 (495) 672-11-73; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9332-0526>).

Elena G. Simonova – Doctor of Medical Sciences, Professor at the Department for Epidemiology and Contemporary Vaccine Prevention Technologies (e-mail: simonova_e_g@mail.ru; tel.: +7 (495) 602-12-75; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7179-9890>).

14. Mills J.N., Gage K.L., Khan A.S. Potential influence of climate change on vector-borne and zoonotic diseases: a review and proposed research plan. *Environ. Health Perspect.*, 2010, vol. 118, no. 11, pp. 1507–1514. DOI: 10.1289/ehp.0901389
15. Semenza J.C., Suk J.E., Estevez V., Ebi K.L., Lingren E. Mapping climate change vulnerabilities to infection diseases in Europe. *Environ. Health Perspect.*, 2012, vol. 120, no. 3, pp. 385–392. DOI: 10.1289/ehp.1103805
16. Laishev K.A., Zabrodin V.A. Problemy veterinarnogo blagopoluchiya po infektsionnym boleznyam v Severnom oleevodstve [Issues related to veterinary well-being as per communicable diseases in the Northern deer-raising]. *Farm. Animals.*, 2012, vol. 1, no. 1, pp. 36–40 (in Russian).
17. Pavlova S.N., Barakhova L.D. Riski vozniknoveniya chrezvychainykh situatsii na territorii Respubliki Sakha (Yakutiya) [Risks of emergencies in Yakutia]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'*, 2013, vol. 9, no. 47 (236), pp. 44–52 (in Russian).
18. Galkin V.V., Loktionova M.N., Simonova E.G., Khadartsev O.S. Problems in the safety of anthrax cattle burial grounds. *Epidemiologiya i infektsionnye bolezni*, 2007, no. 6, pp. 55–57 (in Russian).
19. Gavrilov V.A. Perspektivy resheniya problem biologicheskoi opasnosti sibireyazvennykh skotomogil'nikov [Prospects for solving the issue related to biological hazards occurring due to anthrax cattle burials]. *Dezinfektsiya. Antiseptika*, 2010, vol. 1, no. 3, pp. 12–15 (in Russian).
20. Gavrilov V.A., Gryazneva T.N., Seliverstov V.V. Soil hearth anthrax: realities and challenges. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya*, 2017, no. 8, pp. 17–22 (in Russian).
21. Dyagilev G.T., Neustroev M.P. Epidemiological and epizootological situation on anthrax in the republic of Sakha (Yakutia). *Veterinariya i kormlenie*, 2019, no. 7, pp. 11–13 (in Russian).
22. Karataeva T.D., Vasil'eva A.A. Epizooticheskaya obstanovka po sibirskoi yazve i ee profilaktike v Respublike Sakha (Yakutiya) [Epizootic situation as per anthrax and its prevention in Yakutia]. *Vestnik veterinarii*, 2007, no. 40–41, pp. 106–112 (in Russian).
23. Dyagilev G.T., Chernyavskii V.F., Egorov I.Ya., Sofronova O.N., Nikiforov O.I. Epizootological and epidemiological monitoring of anthrax in the arctic and eastern zones of Yakutia. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki*, 2019, vol. 24, no. 2, pp. 95–105 (in Russian).
24. Revich B., Podolnaya M. Thawing of permafrost may disturb historic cattle burial grounds in East Siberia. *Global Health Action*, 2011, no. 4, pp. 8482. DOI: 10.3402/gha.v4i0.8482
25. Letom 2016 g. na fone krupnoi i prodolzhitel'noi temperaturnoi anomalii v Yamalo-Nenetskom avtonomnom okruge nablyudaetsya vspyshka zaboлеваemosti oleni sibirskoi yazvoi. Press-reliz 6 avgusta 2016 [In summer 2016 a large and long-term temperature anomaly resulted in anthrax outbreak among deer in the Yamal-Nenets Autonomous Area. Press release issued on August 6, 2016]. *Institut global'nogo klimata i ekologii imeni akademika Yu.A. Izraeliya*, 2016. Available at: http://old.igce.ru/page/news_06082016 (12.09.2020) (in Russian).
26. Opyt likvidatsii vspyshki sibirskoi yazvy na Yamale v 2016 godu [Experience gained in anthrax outbreak elimination on the Yamal peninsula in 2016]. In: A.Yu. Popova, A.N. Kulichenko eds. *Izhevsk, OOO «Print-2» Publ.*, 2017, 313 p. (in Russian).
27. Terebova S.V. The monitoring of anthrax outbreaks. *Agrarnyi vestnik Primor'ya*, 2017, no. 4 (8), pp. 42–47 (in Russian).
28. Susloparov G.A., Kuzin A.A., Lantsov E.V. Medical-geographic characteristics natural and social conditions of development of epidemic process in the Yamal-Nenets autonomous district. *Vestnik Rossiiskoi voenno-meditsinskoi akademii*, 2018, no. S1, pp. 196–199 (in Russian).
29. Perevertin K.A., Vasil'ev T.A. Ekstsessy riskov paleobiozagryazneniya landshaftov v usloviyakh global'nogo potepeniya [Elevated risks of paleobiological contamination caused by global warming]. *Materialy Shestoi konferentsii «Matematicheskoe modelirovanie v ekologii «EkoMatMod-2019»*, 2019, pp. 158–160 (in Russian).
30. Simonova E.G., Kartavaya S.F., Titkov A.V., Loktionova M.N., Raichich S.R., Tolpin V.A., Lupyan E.A., Platonov A.E. Anthrax in the territory of Yamal: assessment of epizootiological and epidemiological risks. *Problemy osobo opasnykh infektsii*, 2017, no. 1, pp. 89–93 (in Russian).

Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Raichich S.R., Saburova S.A., Simonova E.G. Creating zones in administrative districts located in the russian arctic region specific as per threats of cattle burials decay due to permafrost degradation. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 115–125. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.12.eng

Получена: 05.11.2020

Принята: 03.03.2021

Опубликована: 30.03.2021

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ РИСКА

УДК 575.174.015.3: 613.632: 546.49-121

DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.13

Читать
онлайн



Научная статья

АССОЦИАЦИЯ ПОЛИМОРФИЗМОВ *HSPA1B*, *S100B* И *TNF-α* ГЕНОВ С РИСКОМ РАЗВИТИЯ ХРОНИЧЕСКОЙ РТУТНОЙ ИНТОКСИКАЦИИ

Ю.И. Черняк

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

Изучена ассоциация полиморфизмов HSPA1B (+1267A/G, rs1061581), TNF-α (–308G/A, rs1800629) и S100B (C/T, rs9722) генов с формированием хронической ртутной интоксикации.

Анализ ПЦР–ПДРФ использован при обследовании когорты из 128 работников, подвергшихся хроническому воздействию паров ртути и распределенных по двум группам. Стажированные работники без хронической ртутной интоксикации составили группу 1 (n = 46), пациенты в отдаленном периоде хронической ртутной интоксикации – группу 2 (n = 82). Дополнительно оценено распределение частот генотипов rs1061581 в региональной субпопуляции у 298 практически здоровых мужчин (группа 3).

Для полиморфного варианта HSPA1B (+1267A/G) установлена повышенная частота носительства как микрорного G-аллеля (p = 0,003), так и GG редкой гомозиготы (p = 0,005) в группе 2 относительно группы 1. У 23,2 % пациентов группы 2 обнаружен GG-генотип, при этом 95 % его носителей имели диагноз хронической ртутной интоксикации. Не выявлено различий в распределении генотипов в профессиональной когорте (группы 1 и 2) по сравнению с группой 3. Показано, что гомозиготный GG-HSPA1B (+1267A/G) генотип ассоциируется с риском развития хронической ртутной интоксикации (OR = 13,57, p < 0,0001, рецессивная модель). Для носителей гаплотипа G–G (rs1061581–rs1800629) установлено 2,6-кратное увеличение отношения шансов развития хронической ртутной интоксикации (p = 0,0098), а между парой названных полиморфных локусов отмечен значимый уровень неравновесного сцепления D' = 0,459 (p = 0,0004). Такие данные указывают на генетическое взаимодействие между локусами HSPA1B (+1267A/G) и TNF-α (–308G/A) в изученной когорте.

В целом полученные результаты свидетельствуют о том, что носители GG-HSPA1B (+1267A/G) генотипа имеют высокий прогностический риск развития хронической ртутной интоксикации.

Ключевые слова: ртуть, хроническое воздействие, хроническая ртутная интоксикация, полиморфизм генов, белки теплового шока 70, фактор некроза опухолей, белок S100B, риск.

Ранее сообщалось, что медицинское сопровождение предприятий производства каустика с технологией ртутного электролиза позволило сформировать когорту работников, хронически экспонированных парами металлической ртути [1]. Последняя включала в том числе пациентов в отдаленном периоде хронической ртутной интоксикации (ХРИ) с прогрессивным характером течения и формированием тяжелого органического поражения головного мозга [2]. Обнаруженные у пациентов этой группы признаки нейродегенеративных процессов определили наш интерес к белкам теплового шока семейства 70 (HSP70, *HSPA1* гены), играющим ключевую цитопротекторную роль при нейродегенеративных

заболеваниях [3]. Было установлено, что носительство CC-HSPA1A (+190G/C) и GG-HSPA1B (+1267A/G) редких гомозигот и их комбинации ассоциировано с высоким риском развития ХРИ [1]. Кроме того, носители GG-HSPA1B (+1267A/G) генотипа имели больший биологический возраст относительно такового у носителей других генотипов среди пациентов с диагнозом ХРИ [4].

Специфика поражения головного мозга у пациентов с ХРИ обусловила наше внимание к фактору некроза опухолей TNF-α как к ключевому медиатору воспалительного / иммунного ответа [5]. Ген *TNF-α* является одним из самых полиморфных генов цитокинов и, как и *HSPA1*-гены, располагается в

© Черняк Ю.И., 2021

Черняк Юрий Ильич – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: yuri_chernyak@hotmail.com; тел.: 8 (3955) 58-69-10, доб. 1412; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9641-0327>).

локусе главного комплекса гистосовместимости на коротком плече хромосомы 6. Giacomini et al. [6] установили значимую связь между 1267A/G *HSP70*-полиморфизмом и уровнями *TNF-α* в плазме у здоровых пожилых людей. В частности, носители G-аллеля имели повышенный уровень *TNF-α*, что, по мнению авторов, свидетельствует о провоспалительной роли этого аллеля. Выраженная экспрессия *HSP70* вызывает репрессию индуцированной липополисахаридами продукции *TNF-α* и IL-6, оказывая противовоспалительный эффект.

В сыворотке крови пациентов с диагнозом ХРИ было отмечено значимое повышение концентрации эндогенного белка *S100B*, принадлежащего к суперсемейству кальцийсвязывающих белков *S100*, что могло характеризовать степень активности патологического процесса [7]. Белок *S100B* экспрессируется в различных типах клеток центральной нервной системы, его повышенные концентрации были описаны, в частности, для пациентов с болезнью Альцгеймера и Паркинсона [8, 9]. Из-за отсутствия специфичности некоторые исследователи не рекомендуют полагаться на концентрацию белка для дифференциальной диагностики в случае подозрения на нейродегенеративные расстройства, а также отмечают ограниченную полезность *S100B* для мониторинга прогрессирования заболевания [10]. К настоящему времени в литературе достаточно широко представлены результаты исследований, направленных на оценку возможной связи между однонуклеотидными полиморфизмами в гене, кодирующем *S100B*, и различными заболеваниями [9, 11, 12].

Цель настоящей работы – исследование ассоциации некоторых полиморфизмов *HSPA1B*, *S100B* и *TNF-α* генов с риском формирования хронической ртутной интоксикацией.

Материалы и методы. Для выявления ассоциации полиморфных вариантов *HSPA1B* (+1267A/G, rs1061581), *TNF-α* (–308G/A, rs1800629) и *S100B* (C/T, rs9722) генов с формированием ХРИ была изучена сформированная в 2016 г. и позднее дополненная когорта из 128 бывших работников производства каустика, подвергшихся хроническому воздействию паров ртути [1]. Обследованных распределили в две группы: стажированные работники, не имеющие ХРИ, составили группу 1 ($n = 46$), пациенты в отдаленном периоде ХРИ – группу 2 ($n = 82$). Для оценки распределения носительства генотипов *HSPA1B* (+1267A/G) полиморфного локуса в региональной субпопуляции дополнительно были обследованы 298 мужчин (группа 3) из практически здоровых работников, не контактировавших с ртутью в производственных условиях. Данные о результатах многолетних клинических обследований персонала, о содержании ртути в биосубстратах и загрязнении рабочей зоны предприятий производств каустика были обобщены ранее [1].

После получения письменного информированного согласия на участие в обследовании выполнял-

ся забор венозной крови в вакутейнеры с K_3 ЭДТА. Образцы алиquotировали и хранили при температуре -70°C до проведения анализа. ДНК выделяли с помощью комплекта реагентов «ДНК-экспресс-кровь-плюс» («Литех», Россия), затем выполняли ПЦР–ПДРФ анализ. Для генотипирования (rs1061581 и rs1800629) использовали праймеры, синтезированные «Медиген» (Новосибирск, Россия) и «Евроген» (Москва, Россия), эндонуклеазы рестрикции *PstI* и *TaqI* от Thermo Fisher Scientific (Литва) соответственно. Структура использованных праймеров и условия проведения ПЦР детально изложены в работах [13, 14]. Исследование rs9722 проводили с использованием коммерческих наборов от «Литех» (Москва, Россия). Электрофорез осуществляли в 1,5%-ном агарозном геле (rs1061581 и rs1800629) и 7,5%-ном полиакриламидном геле (rs9722), результаты реакций оценивали в проходящем УФ-свете после окрашивания этидиумом бромидом.

Точный критерий Фишера (двусторонний тест) для оценки различий между группами по частотам аллелей и генотипов выполняли с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.1 (StatSoft, USA). Программу SNPStats применяли для проверки соответствия равновесию Харди – Вайнберга (χ^2 -тест) и логистической регрессии с целью выявления ассоциации изученных полиморфных локусов с ХРИ для нескольких генетических моделей [15]. Результаты регрессионного анализа представляли в виде отношения шансов (*OR*), 95%-ного доверительного интервала (95 % *CI*) и точного уровня значимости p .

Результаты и их обсуждение. Распределение частот генотипов изученных полиморфизмов соответствовало равновесию Харди – Вайнберга во всех обследованных группах. Только для полиморфного варианта *HSPA1B* (+1267A/G) выявлены различия по частоте аллелей и генотипов между группами 1 и 2 (табл. 1). Об этом свидетельствовала повышенная частота носительства как редкого G-аллеля ($p = 0,003$), так и GG редкой гомозиготы ($p = 0,005$) в группе 2 относительно группы 1. У 23,2 % пациентов (у 19 из 82) группы 2 был обнаружен GG-генотип, при этом 95 % (19 из 20) его носителей имели диагноз ХРИ. Следует отметить, что проведенное исследование определило только двух носителей редкой AA-гомозиготы rs1800629 в группе 2 и полное отсутствие носителей TT-гомозигот rs9722 в обеих группах работников.

Распределение генотипов полиморфного локуса +1267A/G *HSPA1B* гена у индивидов в обследованных группах обобщено в табл. 2. Полученные результаты указывают на то, что только для носителей GG-генотипа выявлены значимые отличия при сравнении данных группы 1 с таковыми группы 3. Особо отметим отсутствие различий частот носительства генотипов (в том числе и GG) при сравнении когорты работников, подвергшихся хронической ртутной интоксикации (группы 1 и 2), относительно субпопуляционной выборки из мужчин, представленной группой 3.

Таблица 1

Распределение аллелей и генотипов полиморфных вариантов *HSPA1B*, *TNF-α* и *S100B* генов

Ген (полиморфный локус), аллели и генотипы	Группа 1, n = 46	Группа 2, n = 82	p*
<i>HSPA1B</i> (rs1061581)			
A	68 (0,74)	90 (0,55)	0,003
G	24 (0,26)	74 (0,45)	
AA	23 (0,5)	27 (0,33)	0,062
AG	22 (0,48)	36 (0,44)	0,714
GG	1 (0,02)	19 (0,23)	0,005
<i>TNF-α</i> (rs1800629)			
G	78 (0,85)	146 (0,89)	0,331
A	14 (0,15)	18 (0,11)	
AA	0 (0)	2 (0,02)	0,536
AG	14 (0,3)	14 (0,17)	0,118
GG	32 (0,7)	66 (0,8)	0,194
<i>S100B</i> (rs9722)			
C	83 (0,9)	143 (0,87)	0,547
T	9 (0,1)	21 (0,13)	
CC	37 (0,8)	61 (0,74)	0,518
CT	9 (0,2)	21 (0,26)	
TT	0 (0)	0 (0)	

Примечание: приведены абсолютные значения (относительная частота); * – точный критерий Фишера, $df = 2$.

Обсуждая распределение генотипов изученных полиморфных локусов, отметим, что в объединенной группе и группе 3 частота носительства GG-*HSPA1B* (+1267A/G) генотипа (0,16 и 0,17 соответственно) была сопоставима с таковой в польской когорте (0,17) [6]. Обращает на себя внимание, что во всех названных группах частота носительства данного генотипа была несколько ниже, чем в группе 2 (0,23). Что касается носительства редкой AA-*TNF-α* (–308G/A) гомозиготы (только два носителя в группе пациентов с ХРИ), ее частота в группе

2 (0,02) была несколько выше таковой в итальянской и греческой (0,009 и 0,014), но ниже, чем в немецкой, французской и польской выборках (0,027, 0,029 и 0,031 соответственно) [6]. К сожалению, в изученной нами когорте не было выявлено носителей TT-*S100B* (C/T, rs9722) гомозиготы. Как следует из данных литературы, частота носительства названного генотипа довольно низка. В частности, для двух контрольных когорт в шведском исследовании (421 и 372 индивида) она составила 0,010 и 0,013 (4 и 5 человек соответственно) [9]. Однако в исследовании пациентов с депрессией в китайской популяции частота носительства редкой TT-гомозиготы была значительно выше – 0,15 [16]. Можно предположить, что в последнем случае повышенная частота носительства названного генотипа была обусловлена не только ассоциацией с заболеванием, но и принадлежностью обследованных к другой расовой группе – монголоидной.

В табл. 3 представлены результаты логистической регрессии для основных генетических моделей. Для локуса *HSPA1B* (+1267A/G) проведенный анализ выявил, что гомозиготный по редкому аллелю GG-генотип ассоциирован с риском развития ХРИ (рецессивная модель, $OR = 13,57$ ($p < 0,0001$); аддитивная модель, $OR = 2,32$ ($p = 0,0026$)). При этом меньшее значение информационного критерия Акаике для рецессивной модели ($AIC = 158,6$) указывает на то, что она предпочтительней аддитивной ($AIC = 162,1$). Следует отметить, что анализ моделей для rs1800629 и rs9722 полиморфизмов не выявил значимых ассоциаций с ХРИ. Для *S100B* (C/T, rs9722) локуса была проанализирована только кодоминантная модель (CC/CT) из-за отсутствия в группах обследованных носителей редкой TT-гомозиготы. Генетические модели, скорректированные на стаж работы в контакте с ртутью, не обнаружили более значимой ассоциации с ХРИ.

Таблица 2

Распределение в группах генотипов полиморфного локуса +1267A/G *HSPA1B* гена

Генотип	Группа 1, n = 46	Группа 2, n = 82	Группы 1 и 2, n = 128	Группа 3, n = 298	$p_1 / p_2 / p_3^*$
AA	23 (0,5)	27 (0,33)	50 (0,39)	109 (0,36)	0,103/0,604/0,663
AG	22 (0,48)	36 (0,44)	58 (0,45)	139 (0,47)	1,000/0,708/0,833
GG	1 (0,02)	19 (0,23)	20 (0,16)	50 (0,17)	0,006/0,197/0,887

Примечание: приведены абсолютные значения (относительная частота); * $p_1 / p_2 / p_3$ – точный критерий Фишера ($df = 2$) при сравнении групп 1, 2 и 1+2 с группой 3 соответственно.

Таблица 3

Ассоциация изученных полиморфных локусов *HSPA1B*, *TNF-α* и *S100B* генов с формированием ХРИ

Ген (полиморфный локус)	Редкий аллель	Модель	OR (95 % CI), p	AIC
<i>HSPA1B</i> (rs1061581)	G	AA/AG-GG	2,04 (0,97–4,27), 0,58	167,6
		AA-AG/GG	13,57 (1,75–105,09), 0,0004	158,6
		AA-AG-GG	2,32 (1,31–4,12), 0,0026	162,1
<i>TNF-α</i> (rs1800629)	A	GG/GA-AA	0,55 (0,24–1,57), 0,17	169,3
		GG-GA/AA	NA (0,00–NA), 0,18	169,4
		GG-GA-AA	0,69 (0,32–1,46), 0,43	170,2
<i>S100B</i> (rs9722) *	T	CC/CT	1,42 (0,59–3,42), 0,43	170,6

Примечание: представлены результаты логистической регрессии для трех генетических моделей (сверху вниз): доминантной, рецессивной и аддитивной; NA – не определено; * – кодоминантная модель; AIC – значение информационного критерия Акаике.

Ассоциация гаплотипов с формированием ХРИ, $n = 128$

Гаплотип	<i>HSPA1B</i> (+1267A/G)	<i>TNF-α</i> (–308G/A)	Частота	OR (95 % CI)	p
1	A	G	0,5447	1,00	–
2	G	G	0,3003	2,6 (1,27–5,32)	0,0098
3	G	A	0,0825	1,32 (0,45–3,89)	0,61
4	A	A	0,0425	0,38 (0,07–2,05)	0,26

На следующем этапе выполнен анализ гаплотипов для четырех возможных аллельных комбинаций локусов *HSPA1B* (+1267A/G) и *TNF-α* (–308G/A) (табл. 4). Только для G – G-гаплотипа выявлено значимое 2,6-кратное увеличение отношения шансов развития ХРИ ($OR = 2,6$, CI 1,27–5,32, $p = 0,0098$). Значимость данного гаплотипа выглядит логичной, поскольку G-*HSPA1B* (+1267A/G) и G-*TNF-α* (–308G/A) аллели ассоциированы с выработкой высоких и пониженных уровней HSP70 и *TNF-α* соответственно [6]. Кроме того, между полиморфными локусами rs1061581 и rs1800629 отмечен значимый уровень ($p = 0,0004$) неравновесного сцепления $D' = 0,459$. Такие данные указывают на генетическое взаимодействие между локусами *HSPA1B* (+1267A/G) и *TNF-α* (–308G/A) в изученной когорте.

Расширение ранее сформированной когорты за счет восьми пациентов с диагнозом ХРИ, у троих из которых выявлено носительство GG-*HSPA1B* (1267A/G) генотипа, подтвердило обоснованность наших выводов на более раннем этапе исследований [1]. Кроме того, в настоящей работе установлено отсутствие различий в распределении гаплотипов в профессиональной когорте (группы 1 и 2) по сравнению с субпопуляционной выборкой (группа 3). Это позволяет предположить, что, несмотря на размер выборки обследованных работников, полученные результаты с большой вероятностью не являются ложноположительными. Отметим, что в проведенном исследовании в качестве генов-кандидатов были оценены полиморфные варианты *HSPA1B*, *TNF-α* и *S100B* генов, информация о которых отсутствует в последних специализированных обзорах, посвященных генетическим аспектам чувствительности к воздействию ртути [17, 18].

К настоящему времени существует понимание значимости того, как генетические варианты и полиморфизмы генов могут модифицировать нейротоксичность ртути в профессиональных когортах, для которых промышленные риски суммируются с экологическими [19]. Недавние исследования показали, что характер отложений неорганической ртути в тканях мозга людей, подвергшихся загрязнению окружающей среды, отличается от таковых у имевших острое или подострое воздействие высоких концентраций в производственных условиях [20]. В целом это обуславливает целесообразность проведения исследований генетического статуса работников для выявления гиперчувствительных индивидов, которым может быть причинен вред даже в случае воздействия относительно невысоких уровней токсиканта [19]. Представляется обоснованным, если такие подходы будут реализованы для персонала, привлекаемого к работам по ликвидации накопленного вреда на промплощадке бывшего ООО «Усольехимпром», где только что завершен демонтаж наземной части самого опасного объекта на территории – цеха ртутного электролиза.

Выводы. Полученные в настоящей работе результаты позволяют заключить, что носители гомозиготного по редкому аллелю GG-*HSPA1B* (+1267A/G) генотипа имеют высокий прогностический риск развития хронической ртутной интоксикации.

Благодарность. Автор выражает благодарность А.П. Мериновой за техническую ассистенцию, сотрудникам клиники за организацию обследования и формирование групп.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ (№ 0534-2016-0006).

Конфликт интересов. Автор статьи заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Chernyak Yu.I., Merinova A.P. *HSP70 (HSPA1)* polymorphisms in former workers with chronic mercury vapor exposure // International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health. – 2017. – Vol. 30, № 1. – P. 77–85. DOI: 10.13075/ijomeh.1896.00732
2. Современные подходы к классификации профессиональной интоксикации ртутью / О.Л. Лахман, Е.В. Катаманова, Т.Н. Константинова, О.И. Шевченко, В.А. Мещерягин, О.И. Андреева, Д.В. Русанова, Н.Г. Судакова // Экология человека. – 2009. – № 12. – С. 22–27.
3. Turturici G., Sconzo G., Geraci F. Hsp70 and its molecular role in nervous system diseases // Biochemistry Research International. – 2011. – Vol. 2011. – P. e618127. DOI: 10.1155/2011/618127
4. Черняк Ю.И., Шевченко О.И., Лахман О.Л. Полиморфные локусы *HSPA1* генов и биологический возраст у лиц, подвергшихся хроническому воздействию паров ртути // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 10. – С. 38–42.

5. Rac mediates TNF-induced cytokine production via modulation of NF-kappa B / L.M. Williams, F. Lali, K. Willetts, C. Balague, N. Godessart, F. Brennan, M. Feldmann, B.M.J. Foxwell // *Molecular Immunology*. – 2008. – Vol. 45, № 9. – С. 2446–2454. DOI: 10.1016/j.molimm.2007.12.011
6. Association among 1267 A/G HSP70-2, -308 G/A TNF- α polymorphisms and pro-inflammatory plasma mediators in old ZincAge population / R. Giacconi, L. Costarelli, M. Malavolta, F. Piacenza, R. Galeazzi, N. Gasparini, A. Basso, E. Mariani [et al.] // *Biogerontology*. – 2014. – Vol. 15, № 1. – P. 65–79. DOI: 10.1007/s10522-013-9480-1
7. Боклаженко Е.В., Бодиенкова Г.М. Изменение уровня эндогенного белка S-100B при воздействии на организм ртути в условиях производства (предварительное сообщение) // *Бюллетень ВШЦ СО РАМН*. – 2010. – № 1 (71). – С. 14–16.
8. Brain interleukin 1 and S-100 immunoreactivity are elevated in Down syndrome and Alzheimer disease / W.S. Griffin, L.C. Stanley, C. Ling, L. White, V. MacLeod, L.J. Perrot, C.L. White 3rd, C. Araoz // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 1989. – Vol. 86, № 19. – P. 7611–7615. DOI: 10.1073/pnas.86.19.7611
9. S100B polymorphisms are associated with age of onset of Parkinson's disease / C. Fardell, A. Zettergren, C. Ran, A.C. Belin, A. Ekman, O. Sydow, L. Bäckman, B. Holmberg [et al.] // *BMC Medical Genetics*. – 2018. – Vol. 19, № 1. – P. e42. DOI: 10.1186/s12881-018-0547-3
10. S100B protein in neurodegenerative disorders / J. Steiner, B. Bogerts, M.L. Schroeter, H.G. Bernstein // *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*. – 2011. – Vol. 49, № 3. – P. 409–424. DOI: 10.1515/CCLM.2011.083
11. S100B gene polymorphisms predict prefrontal spatial function in both schizophrenia patients and healthy individuals / J. Zhai, L. Cheng, J. Dong, Q. Shen, Q. Zhang, M. Chen, L. Gao, X. Chen [et al.] // *Schizophrenia Research*. – 2012. – Vol. 134, № 1. – P. 89–94. DOI: 10.1016/j.schres.2011.09.029
12. Association of S100B 3'UTR polymorphism with risk of chronic heart failure in a Chinese Han population / Y. Chen, X. Chen, M. Yao, L. Chen, W. Chen, X. Liu // *Medicine (Baltimore)*. – 2020. – Vol. 99, № 26. – P. e21018. DOI: 10.1097/MD.00000000000021018
13. Interacting contribution of the five polymorphisms in three genes of Hsp70 family to essential hypertension in Uyghur ethnicity / J.X. Li, B.P. Tang, H.P. Sun, M. Feng, Z.H. Cheng, W.Q. Niu // *Cell Stress Chaperones*. – 2009. – Vol. 14, № 4. – P. 355–362. DOI: 10.1007/s12192-008-0089-2
14. Association study of astrocyte-derived protein S100B gene polymorphisms with major depressive disorder in Chinese people / K. Yang, G.R. Xie, Y.Q. Hu, F.Q. Mao, L.Y. Su // *The Canadian Journal of Psychiatry*. – 2009. – Vol. 54, № 5. – P. 312–319. DOI: 10.1177/070674370905400505
15. SNPStats: A web tool for the analysis of association studies / X. Solé, E. Guinó, J. Valls, R. Iñiesta, V. Moreno // *Bioinformatics*. – 2006. – Vol. 1, № 22 (15). – P. 1928–1929. DOI: 10.1093/bioinformatics/btl268
16. No association of the rs9722 C > T in the S100B gene and susceptibility to major depression in a Chinese population / K. Yang, Y.Q. Hu, G.R. Xie, F.Q. Mao, L.Y. Su // *Genetic Testing*. – 2008. – Vol. 12, № 4. – P. 487–489. DOI: 10.1089/gte.2008.0023
17. Gundacker C., Gencik M., Hengstschläger M. The relevance of the individual genetic background for the toxicokinetics of two significant neurodevelopmental toxicants: mercury and lead // *Mutation Research*. – 2010. – Vol. 705, № 2. – P. 130–140. DOI: 10.1016/j.mrrev.2010.06.003
18. Andreoli V., Sprovieri F. Genetic aspects of susceptibility to mercury toxicity: An overview // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2017. – Vol. 14, № 1. – P. e93. DOI: 10.3390/ijerph14010093
19. How occupational mercury neurotoxicity is affected by genetic factors. A systematic review / F. Chirico, E. Scoditti, C. Viora, N. Magnavita // *Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 10, № 21. – P. e7706. DOI: 10.3390/app10217706
20. Neuropathology associated with exposure to different concentrations and species of mercury: A review of autopsy cases and the literature / J.L. O'Donoghuea, G.E. Watsona, R. Brewere, G. Zarebaa, K. Etof, H. Takahashig, M. Marumotoh, T. Lovei [et al.] // *NeuroToxicology*. – 2020. – № 78. – P. 88–98. DOI: 10.1016/j.neuro.2020.02.011

Черняк Ю.И. Ассоциация полиморфизмов HSPA1B, S100B и TNF- α генов с риском развития хронической ртутной интоксикации // *Анализ риска здоровью*. – 2021. – № 1. – С. 126–132. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.13

Research article

ASSOCIATION BETWEEN *HSPA1B*, *S100B*, AND *TNF-α* GENE POLYMORPHISMS AND RISKS OF CHRONIC MERCURY POISONING**Yu.I. Chernyak**

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

We examined association between *HSPA1B* (+1267A/G, rs1061581), *TNF-α* (–308G/A, rs1800629), and *S100B* (C/T, rs9722) gene polymorphisms and chronic mercury poisoning (CMP).

PCR-RFLP analysis was used to examine a cohort consisting of 128 workers who were chronically exposed to mercury vapor; workers were distributed into two groups. The group 1 was made up of workers with long working experience who didn't have CMP ($n = 46$), the group 2 included patients with long-term CMP period ($n = 82$). In addition, we estimated frequencies of rs1061581 genotypes in 298 practically healthy men from regional sub-population (group 3).

HSPA1B (+1267A/G) polymorphic variant was established to have more frequent carriage of both minor G allele ($p = 0.003$) and a rare GG homozygous ($p = 0.005$) in the group 2 against the group 1. 23.2 % patients from the group 2 turned out to have GG genotype and CMP was diagnosed in 95 % people who had it. We didn't detect any differences in genotypes distribution among people from the examined occupational cohort (groups 1 and 2) against the group 3. GG-*HSPA1B* (+1267A/G) homozygous genotype was shown to be associated with CMP risks ($OR = 13.57$, $p < 0.0001$, recessive model). Haplotype G–G (rs1061581–rs1800629) carriers were established to run 2.6 higher risks of CMP occurrence ($p = 0.0098$), and there was a significant linkage disequilibrium $D' = 0.459$ ($p = 0.0004$) between a pair of the above-mentioned polymorphic loci. These data indicate that there is genetic interaction between *HSPA1B* (+1267A/G) and *TNF-α* (–308G/A) loci in the examined cohort.

Overall, these results indicate that carriers of GG-*HSPA1B* (+1267A/G) genotype run high predictive risks of CMP occurrence.

Key words: mercury, chronic exposure, chronic mercury poisoning, gene polymorphism, heat shock proteins 70, tumor necrosis factor, protein *S100B*, risk.

References

1. Chernyak Yu.I., Merinova A.P. *HSP70* (*HSPA1*) polymorphisms in former workers with chronic mercury vapor exposure. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 2017, vol. 30, no. 1, pp. 77–85. DOI: 10.13075/ijomh.1896.00732
2. Lakhman O.L., Katamanova E.V., Konstantinova T.N., Shevchenko O.I., Meshcheryagin V.A., Andreeva O.I., Rusanova D.V., Sudakova N.G. Contemporary approaches to the classification of occupational mercury intoxication. *Ekologiya cheloveka*, 2009, no. 12, pp. 22–27 (in Russian).
3. Turturici G., Sconzo G., Geraci F. Hsp70 and its molecular role in nervous system diseases. *Biochemistry Research International*, 2011, vol. 2011, pp. e618127. DOI: 10.1155/2011/618127
4. Chernyak Yu.I., Shevchenko O.I., Lakhman O.L. Polymorphic loci of *HSPA1* genes and biological age in workers chronically exposed to mercury vapor. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 10, pp. 38–42 (in Russian).
5. Williams L.M., Lali F., Willetts K., Balague C., Godessart N., Brennan F., Feldmann M., Foxwell B.M.J. Rac mediates TNF-induced cytokine production via modulation of NF-κB. *Molecular Immunology*, 2008, vol. 45, no. 9, pp. 2446–2454. DOI: 10.1016/j.molimm.2007.12.011
6. Giacconi R., Costarelli L., Malavolta M., Piacenza F., Galeazzi R., Gasparini N., Basso A., Mariani E. [et al.]. Association among 1267 A/G *HSP70*-2, -308 G/A *TNF-α* polymorphisms and pro-inflammatory plasma mediators in old ZincAge population. *Biogerontology*, 2014, vol. 15, no. 1, pp. 65–79. DOI: 10.1007/s10522-013-9480-1
7. Boklazhenko E.V., Bodienkova G.M. Level alterations in protein S-100B in blood sera of employees exposed to mercury. *Byulleten' VSNTs SO RAMN*, 2010, no. 1 (71), pp. 14–16 (in Russian).
8. Griffin W.S., Stanley L.C., Ling C., White L., MacLeod V., Perrot L.J., White 3rd C.L., Araoz C. Brain interleukin 1 and S-100 immunoreactivity are elevated in Down syndrome and Alzheimer disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1989, vol. 86, no. 19, pp. 7611–7615. DOI: 10.1073/pnas.86.19.7611

© Chernyak Yu.I., 2021

Yury I. Chernyak – Doctor of Biological Sciences, Leading researcher (e-mail: yuri_chernyak@hotmail.com; tel.: +7 (3955) 58-69-10, ext. 1412; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9641-0327>).

9. Fardell C., Zettergren A., Ran C., Belin A.C., Ekman A., Sydow O., Bäckman L., Holmberg B. [et al.]. S100B polymorphisms are associated with age of onset of Parkinson's disease. *BMC Medical Genetics*, 2018, vol. 19, no. 1, pp. e42. DOI: 10.1186/s12881-018-0547-3
10. Steiner J., Bogerts B., Schroeter M.L., Bernstein H.G. S100B protein in neurodegenerative disorders. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 2011, vol. 49, no. 3, pp. 409–424. DOI: 10.1515/CCLM.2011.083
11. Zhai J., Cheng L., Dong J., Shen Q., Zhang Q., Chen M., Gao L., Chen X. [et al.]. S100B gene polymorphisms predict prefrontal spatial function in both schizophrenia patients and healthy individuals. *Schizophrenia Research*, 2012, vol. 134, no. 1, pp. 89–94. DOI: 10.1016/j.schres.2011.09.029
12. Chen Y., Chen X., Yao M., Chen L., Chen W., Liu X. Association of S100B 3'UTR polymorphism with risk of chronic heart failure in a Chinese Han population. *Medicine (Baltimore)*, 2020, vol. 99, no. 26, pp. e21018. DOI: 10.1097/MD.00000000000021018
13. Li J.X., Tang B.P., Sun H.P., Feng M., Cheng Z.H., Niu W.Q. Interacting contribution of the five polymorphisms in three genes of Hsp70 family to essential hypertension in Uygur ethnicity. *Cell. Stress Chaperones.*, 2009, vol. 14, no. 4, pp. 355–362. DOI: 10.1007/s12192-008-0089-2
14. Yang K., Xie G.R., Hu Y.Q., Mao F.Q., Su L.Y. Association study of astrocyte-derived protein S100B gene polymorphisms with major depressive disorder in Chinese people. *The Canadian Journal of Psychiatry*, 2009, vol. 54, no. 5, pp. 312–319. DOI: 10.1177/070674370905400505
15. Solé X., Guinó E., Valls J., Iñiesta R., Moreno V. SNPStats: A web tool for the analysis of association studies. *Bioinformatics* 2006, vol. 1, no. 22 (15), pp. 1928–1929. DOI: 10.1093/bioinformatics/btl268
16. Yang K., Hu Y.Q., Xie G.R., Mao F.Q., Su L.Y. No association of the rs9722 C > T in the S100B gene and susceptibility to major depression in a Chinese population. *Genetic Testing* 2008, vol. 12, no. 4, pp. 487–489. DOI: 10.1089/gte.2008.0023
17. Gundacker C., Gencik M., Hengstschläger M. The relevance of the individual genetic background for the toxicokinetics of two significant neurodevelopmental toxicants: mercury and lead. *Mutation Research* 2010, vol. 705, no. 2, pp. 130–140. DOI: 10.1016/j.mrrev.2010.06.003
18. Andreoli V., Sprovieri F. Genetic aspects of susceptibility to mercury toxicity: An overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2017, vol. 14, no. 1, pp. e93. DOI: 10.3390/ijerph14010093
19. Chirico F., Scoditti E., Viora C., Magnavita N. How occupational mercury neurotoxicity is affected by genetic factors. A systematic review. *Applied Sciences*, 2020, vol. 10, no. 21, pp. e7706. DOI: 10.3390/app10217706
20. O'Donoghue J.L., Watson G.E., Brewere R., Zareba G., Etof K., H. Takahashig, Marumoto M., Lovei T. [et al.]. Neuropathology associated with exposure to different concentrations and species of mercury: A review of autopsy cases and the literature. *Neuro Toxicology*, 2020, no. 78, pp. 88–98. DOI: 10.1016/j.neuro.2020.02.011

Chernyak Yu.I. Association between HSPA1B, S100B, and TNF- α gene polymorphisms and risks of chronic mercury poisoning. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 126–132. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.13.eng

Получена: 17.11.2020

Принята: 03.03.2021

Опубликована: 31.03.2021



Научная статья

СОЧЕТАНИЕ АЛЛЕЛЕЙ HLA-DRB1 КАК УСЛОВИЕ РЕАЛИЗАЦИИ РИСКА ФОРМИРОВАНИЯ СПОРАДИЧЕСКИХ ВРОЖДЕННЫХ ПОРОКОВ СЕРДЦА И ВРОЖДЕННЫХ ПОРОКОВ РАЗВИТИЯ ПЛОДА БЕЗ ХРОМОСОМНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ**А.В. Шабалдин^{1,2}, А.В. Цепочкина¹, О.В. Долгих³, Е.В. Шабалдина², А.В. Понасенко¹**¹Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний, Россия, 650002, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 6²Кемеровский государственный медицинский университет, Россия, 650056, г. Кемерово, ул. Ворошилова 22а³Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

Врожденные пороки сердца – аномалии, частота которых из года в год увеличивается. Их удельный вес доминирует среди всех пороков и аномалий развития плода. Кроме того, частота рождения детей со спорадическими врожденными пороками и аномалиями развития плода остается высокой. Высказано предположение о том, что врожденные пороки сердца и врожденные пороки развития плода формируются за счет декомпенсации воспалительным процессом в системе «мать – плод», возникающего при конфликте по HLA между полуаллогенным зародышем и материнским микроокружением. Риск развития конфликта может быть ассоциирован с определенными сочетаниями HLA-генотипов супругов. Выявлены особенности сочетания аллелей HLA-DRB1 в семейных парах, имеющих детей со спорадическими врожденными пороками сердца и врожденными пороками развития плода без хромосомных заболеваний как условие реализации риска формирования врожденных аномалий.

У всех участников исследования определяли частоту встречаемости 14 аллелей гена HLA-DRB1.

*В результате проведенного исследования установлено, что в группе врожденных пороков сердца наблюдалось увеличение встречаемости в семейных парах общего HLA-DRB1*04, женского HLA-DRB1*07 с мужскими HLA-DRB1*13, HLA-DRB1*17 и женского HLA-DRB1*13 с мужским HLA-DRB1*14. В группе врожденных пороков развития плода показано статистически значимое увеличение частоты встречаемости семей гомологичных по HLA-DRB1*12, а также с женским HLA-DRB1*12 и мужскими HLA-DRB1*01, HLA-DRB1*04, HLA-DRB1*13, HLA-DRB1*15. Выявлено значимое увеличение частоты аллеля HLA-DRB1*12 у детей по отношению к их родителям. Группа детей с врожденными пороками развития плода имела статистически значимое отличие от здоровых детей по частоте встречаемости аллеля HLA-DRB1*12.*

Определение генетических предикторов развития врожденных пороков сердца и врожденных пороков развития плода – особенностей сочетания аллелей HLA-DRB1 как фактора риска формирования врожденных пороков сердца у детей – позволит минимизировать риск возникновения нарушений с целью их ранней диагностики и профилактики.

Ключевые слова: главный комплекс гистосовместимости, HLA-DRB1, аллели, врожденные пороки сердца, врожденные пороки развития плода, фактор риска, семейные пары, совместимость супругов.

Главный комплекс тканевой совместимости (HLA у человека) является важной составляющей иммунной системы млекопитающих (человека). Комплекс генов, входящих в HLA, локализуется по трем классам (I, II, III классы). Во II классе находятся локусы HLA-DR, HLA-DQ, гены которых

© Шабалдин А.В., Цепочкина А.В., Долгих О.В., Шабалдина Е.В., Понасенко А.В., 2021

Шабалдин Андрей Владимирович – доктор медицинских наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории пороков сердца; профессор кафедры микробиологии, иммунологии и вирусологии (e-mail: weit2007@yandex.ru; тел.: 8 (903) 907-51-97; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8785-7896>).

Цепочкина Анна Викторовна – младший научный сотрудник лаборатории геномной медицины (seroav1991@gmail.com; тел.: 8 (950) 586-33-97; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4467-8732>).

Шабалдина Елена Викторовна – доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой оториноларингологии (e-mail: weit2007@yandex.ru; тел.: 8 (951) 163-90-11; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0450-2767>).

Долгих Олег Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделом иммунобиологических методов диагностики (e-mail: oleg@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 236-39-30; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4860-3145>).

Понасенко Анастасия Валериевна – кандидат медицинских наук, заведующая лабораторией геномной медицины (e-mail: ponaav@kemcardio.ru; тел.: 8 (951) 591-05-50; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3002-2863>).

кодируют молекулы, презентующие эндо- и экзоантигены Т-хелперным лимфоцитам (1, 2, 3, 17-го и 22-го типов), и через этот феномен определяют силу и качество иммунных ответов на антигены макро- и микроэкологии [1]. Гены I и II класса HLA обладают высокой полиморфностью. Так, согласно HLA Alleles Numbers¹ только для *HLA-DRB1* в настоящий момент описано более 2500 аллелей. Аллели *HLA-DRB1*01*, *HLA-DRB1*03* (17), *HLA-DRB1*04*, *HLA-DRB1*07*, *HLA-DRB1*11*, *HLA-DRB1*12*, *HLA-DRB1*13* и *HLA-DRB1*15* распределены с равномерными частотами в популяциях мира [2–4]. Для аллелей, входящих в состав групп *HLA-DRB1*03* (17), *HLA-DRB1*04*, *HLA-DRB1*05* (11) и *HLA-DRB1*15*, показаны ассоциации с патологией иммунной системы и репродуктивными потерями [5, 6]. Предполагается, что в популяциях существуют несколько селективных механизмов, ответственных за ограничение случайного наследования и контролирование в ней «патологических» аллелей. К таким селективным механизмам относят негативно-ассортативное спаривание, селекцию на уровне гаметогенеза, отбор при взаимодействиях по HLA между матерью и полуаллогенным эмбрионом / плодом, а также степень устойчивости или чувствительности к возбудителям инфекционных и паразитарных заболеваний [7]. Причем в онтогенезе механизмы селекции расположены именно в этой последовательности.

Особое значение для здравоохранения имеют врожденные пороки сердца (ВПС), частота которых из года в год увеличивается, и их удельный вес доминирует среди всех пороков и аномалий развития плода [8, 9]. Кроме того, остается высокой частота рождений детей со спорадическими врожденными пороками и аномалиями развития плода (ВПП) без хромосомных заболеваний. Вполне обосновано предположение, что ВПС и ВПП формируются в том числе за счет декомпенсации воспалительным процессом в системе «мать – плод», возникающего при конфликте по HLA между полуаллогенным зародышем и материнским микроокружением [10, 11]. Риск развития конфликта может быть ассоциирован с определенными сочетаниями HLA-генотипов супругов.

Учитывая доказанный феномен ассоциации отдельных аллелей и генотипов HLA с иммуновоспалительными заболеваниями, с репродуктивными потерями, в том числе и с врожденными пороками развития эмбриона / плода [12, 13], изучение особенностей аллелей гена главного комплекса гистосовместимости (HLA) позволит определить совместимость супругов, а значит оценить риск рождения ребенка с пороками и аномалиями развития, приводящий к репродуктивным потерям.

Исходя из этого, целью исследования было определение особенностей сочетания аллелей *HLA-DRB1*

в семейных парах, имеющих детей со спорадическими врожденными пороками сердца и врожденными пороками развития плода без хромосомных заболеваний, и характер их наследования детьми.

Материалы и методы. Исследование проведено на базах НИИ КПССЗ, КемГМУ и КемГУ. Исследование одобрено локальным этическим комитетом НИИ КПССЗ. Все участники подписывали информированное согласие на участие в научном исследовании.

В качестве первой основной группы обследовано 48 семейных пар, чьи дети (23 мальчика и 25 девочек) при рождении имели диагноз врожденного порока сердца, независимый от хромосомных заболеваний. Из семейного анамнеза супругов основной группы выяснено, что в родословной по материнской и отцовской линии ВПС не встречались. Расчет сочетаний аллелей *HLA-DRB1* в семейных парах проводился как в отношении встречаемости женских аллелей с мужскими, так и наоборот. Всего проанализировано 384 сочетания ($48 \cdot 8 = 384$). Формирование основной группы проходило на базе НИИ КПССЗ и КемГМУ.

Вторая основная группа была представлена 68 семейными парами, которые имели детей с врожденными пороками развития плода (ВПП) без хромосомных заболеваний. В этой группе не было детей с ВПС. Все пороки развития плода были спорадическими, без семейной истории. Врожденные пороки развития плода были следующие: гидроцефалия III–IV степени – у 25 детей, кисты сосудистых сплетений – у 16, гидронефроз II – у 114, синдром Арнольда – Киари II – у 5, агенезия червя мозжечка – у 5 и агенезия одной почки – у 3. Анализ сочетаний в семейной паре аллелей *HLA-DRB1* проводился аналогичным образом и всего выделено 544 сочетания ($68 \cdot 8 = 544$). Набор группы сравнения проходил на базе клиник КемГМУ.

В качестве контрольной группы выступили 132 семейные пары, имеющих двух и более здоровых детей. Для данной группы семей имело место 1056 сочетаний ($132 \cdot 8 = 1056$). Группа формировалась в амбулаторно-поликлинических отделениях, являющихся клиническими базами КемГМУ.

Дополнительно на биологическом факультете КемГУ были обследованы 51 девушка и 89 юношей репродуктивного возраста, не состоявших в родстве и в браке. Молодые люди участвовали в эксперименте «HLA-ассоциированный ольфакторный выбор». Исследование утверждено локальным этическим комитетом КемГУ, и все участвующие в эксперименте индивидуумы давали информированное согласие. Данная группа в настоящем исследовании была использована для расчета вероятности встречи женских и мужских аллелей *HLA-DRB1* в популяции

¹ HLA Alleles Numbers [Электронный ресурс] // Nomenclature. – URL: <http://hla.alleles.org/nomenclature/stats.html> (дата обращения: 12.06.2020)

репродуктивного возраста (случайный выбор). Расчет вероятности встречи мужских и женских аллелей проводили с помощью умножения выбранного женского аллеля поочередно на все мужские аллели и наоборот. Расчет выполнен для всех женских и мужских аллелей. При переводе долевых значений в абсолютные использовали общее число возможных комбинаций, которое было равно 18 156 ($51 \cdot 89 \cdot 4 = 18\,156$).

Материалом для исследования послужила генетическая ДНК, выделенная из лейкоцитов периферической крови методом фенол-хлороформной экстракции по стандартному протоколу. Типирование *HLA-DRB1* проводили методом ПЦР с учетом результатов в режиме реального времени на амплификаторе детектирующем ДТ-96 (ДНК-технология, Россия). Определяли частоту встречаемости 14 аллелей гена *HLA-DRB1* коммерческими наборами реагентов HLA-ДНК-ТЕХ (Кат. номер: R1-H001-S3/5, ДНК-технология, Россия).

Дизайн исследования. На первом этапе исследования проводили сравнение частот фактических сочетаний аллелей *HLA-DRB1* в контрольной группе семей с расчетными сочетаниями, полученными для не состоящих в родстве юношей и девушек. С расчетными сочетаниями проведено сравнение фактических сочетаний аллелей *HLA-DRB1* в основных группах семей. Далее проведено сравнение частот сочетания аллелей *HLA-DRB1* в контрольной группе семей с основными группами. Дополнительно сравнили частоты сочетания аллелей *HLA-DRB1* в группе семей, имеющих детей с ВПС, с группой семей, имеющих детей с ВППП.

На следующем этапе выполнен анализ наследования аллелей от родителей детям в основной и контрольной группах. В контрольной группе наследование было к здоровым детям, в основных группах – к детям с ВПС и ВППП соответственно. Для каждого *HLA-DRB1* учитывали аллели, переданные детям от матерей, отцов и в целом. При равновероятной модели наследования значимых различий между переданными и не переданными аллелями не должно быть, и дельта между ними должна стремиться к нулю. Первый этап исследования отражал особенности HLA-ассортативности в норме и при врожденной патологии эмбриона / плода. Второй этап направлен на выявление пренатальной селекции, в том числе на уровне гаметогенеза и взаимодействия по HLA в системе «мать – плод», в физиологических условиях и при формировании врожденной патологии эмбриона / плода.

Математическую обработку проводили с использованием пакета прикладных программ Statistica 8.0 (Stat Soft Inc., USA). Равновесие Харди – Вайнберга определяли при помощи критерия хи-квадрат Пирсона. Расчет ожидаемых частот (в долях) сочетаний аллелей при случайном выборе между индивидуумами различного пола проводили с помощью перемножения частот (в долях) соответствующих женских аллелей с мужскими. Расчет ожидаемой гомозигот-

ности проводили с помощью введения в квадрат доли соответствующего аллеля. Для выявления различий в частотах сочетаний аллелей в группах и в наследовании от матерей к детям использовали хи-квадрат Пирсона с поправкой Йетса на непрерывность. Для оценки риска формирования врожденного порока вычислялось отношение шансов (ОШ) и 95%-ный доверительный интервал к нему (ДИ). Во всех случаях различия считались статистически значимыми при уровне $p < 0,05$ [14].

Результаты и их обсуждение. Проведенное исследование показало, что распределение частоты генотипов *HLA-DRB1* не имело статистически значимых отличий от частот генотипов, рассчитанных в уравнении Харди – Вайнберга.

Данные табл. 1 демонстрируют отсутствие различий по частоте встречаемости аллелей *HLA-DRB1* между группой юношей и девушек, в которой оценивались случайные комбинации мужских и женских аллелей, и всеми остальными группами родителей, что указывает на аллельную сопоставимость групп.

Определено, что частота встречаемости аллеля *HLA-DRB1*12* выше в родительской группе ВППП по сравнению с контрольной группой родителей. Кроме того, частота данного аллеля выше в группе семей, имеющих детей с ВППП. Других статистически значимых различий не установлено.

Далее, согласно дизайну исследования, проведено сравнение частот фактических сочетания аллелей *HLA-DRB1* в контрольной и опытных группах семей с расчетными сочетаниями, полученными для не состоящих в родстве и в браке юношей и девушек (группа – случайный выбор). Выявлен ряд статистически значимых различий, которые приведены в табл. 2.

Представленные в табл. 2 данные показывают, что фактические частоты сочетаний аллелей в семейных парах, имеющих здоровых детей, отличаются от расчетных (группа случайный выбор) преимущественно по *HLA-DRB1*01* и *HLA-DRB1*15*. Кроме того, положительный отбор направлен на увеличение семейных пар с женскими и мужскими *HLA-DRB1*01*, *HLA-DRB1*15*, *HLA-DRB1*07* и *HLA-DRB1*03* (17), *HLA-DRB1*4*, *HLA-DRB1*15* соответственно.

Анализ отклонений от случайного выбора (группа случайный выбор) в семейных группах с ВППП и ВПС показал следующее. В группе семей, имеющих детей с ВППП, отмечен только положительный отбор, и он направлен на образование супружеских пар с женским и мужским *HLA-DRB1*12*, а также с женским *HLA-DRB1*12* и мужскими *HLA-DRB1*01*, *HLA-DRB1*04*, *HLA-DRB1*13*, *HLA-DRB1*15*. Кроме того, как и для контрольной группы семей, в этой группе имел место положительный отбор в отношении сочетания в семейной паре женского *HLA-DRB1*07* и мужского *HLA-DRB1*15*.

Результаты отклонения в семейных парах, имеющих детей со спорадическими ВПС без хромосомных заболеваний, от случайного сочетания женских и мужских аллелей, показали наличие положи-

Таблица 1

Распределение аллелей *HLA-DRB1* в обследованных группах, %

Аллели	1. Случайный выбор ($n = 280$)	2. Контроль ($n = 528$)	3. ВППП ($n = 134$)	4. ВПС ($n = 192$)	P
01	21,78	14,39	13,80	12,13	0,05
03 (17)	7,85	9,47	2,23	10,46	0,05
04	9,64	11,93	7,46	13,38	0,05
07	7,50	9,28	10,07	11,29	0,05
08	5,35	6,43	2,98	2,92	0,05
09	0,71	4,16	1,86	0,83	0,05
10	0,71	0,18	0,74	2,09	0,05
11	11,42	10,98	15,67	15,48	0,05
12	5,71	5,49	13,06	2,09	$p_{2,3} = 0,003$, $p_{3,4} = 0,0007$
13	13,92	9,84	14,55	13,38	0,05
14	1,42	2,84	2,23	2,09	0,05
15	11,07	11,74	14,17	13,80	0,05
16	2,85	3,22	1,11	0,00	0,05

Таблица 2

Сочетание аллелей при случайном выборе (расчетные показатели) и в семейных парах контрольной и опытных групп (представлены только значимые различия, %)

Сочетание женского / мужского аллелей	Случайный выбор, $n = 18\ 156$	Контроль, ВППП, ВПС	p
Контроль, $n = 1056$			
01/01	4,73	1,52 (–)	0,01
01/15	2,15	5,21 (+)	0,008
03 (17)/15	0,94	3,03 (+)	0,007
07/15	0,61	2,75 (+)	0,004
15/01	2,54	5,41 (+)	0,009
15/03 (17)	0,58	2,75 (+)	0,003
15/04	1,04	3,69 (+)	0,005
15/15	1,16	8,62 (+)	0,0001
ВППП, $n = 544$			
07/15	0,61	2,57 (+)	0,006
12/01	0,48	2,39 (+)	0,004
12/04	0,21	1,47 (+)	0,003
12/12	0,26	4,41 (+)	0,001
12/13	0,29	1,84 (+)	0,002
12/15	0,22	2,21 (+)	0,001
ВПС, $n = 384$			
04/04	0,89	2,64 (+)	0,03
07/03 (17)	0,31	1,44 (+)	0,01
07/13	0,79	2,41 (+)	0,03
13/14	0,14	1,44 (+)	0,008

Примечание: / – сочетание аллелей представлено: первый женский аллель, второй мужской. Знак (–) и (+) указывает на отрицательную и положительную селекцию соответственно.

тельного выбора для женского и мужского аллеля *HLA-DRB1*04*. Другие значимые различия по частоте встречаемости сочетаний аллелей в семейных парах первой основной группы по отношению к контролю касались женского *HLA-DRB1*07* и мужских *HLA-DRB1*03*, *HLA-DRB1*13*, а также женского *HLA-DRB1*13* и мужского *HLA-DRB1*14*.

Наиболее значимая демонстрация отклонений от основного отбора в группах с ВППП и ВПС представлена при сравнении частот сочетаний аллелей в этих группах по отношению к контрольной. Как показано в табл. 3, в группе семей, имеющих детей с ВППП, по отношению к контролю чаще встреча-

лась семейная гомологичность по *HLA-DRB1*12*, и реже – по *HLA-DRB1*15*.

Эти данные указывают на то, что аллель *HLA-DRB1*12* может быть маркером когорты с ВППП. Вполне вероятно, что эти особенности связаны с отклонением от физиологической ассортативности по *HLA-DRB1*12* на этапе образования супружеских пар, в том числе за счет влияния социальных, экономических, макро- и микробиологических факторов.

В группе семей, имеющих детей с ВПС, также, как и в группе с ВППП, отрицательная селекция отмечена для женского и мужского *HLA-DRB1*15*, а также дополнительно для женского

Таблица 3

Сочетание аллелей в семьях, имеющих здоровых детей, и в семейных парах, имеющих детей с врожденными пороками развития плода и врожденными пороками сердца (представлены только значимые различия, %)

Сочетание женского/мужского аллелей	Контроль, $n = 1056$	ВПП, ВПС	p
ВПП, $n = 544$			
12/07	0,27	2,21 (+)	0,02
12/12	0,82	4,41 (+)	0,009
13/07	0,27	3,68 (+)	0,01
15/04	3,69	0,37 (–)	0,008
15/15	8,62	1,1 (–)	0,001
ВПС, $n = 384$			
3 (17) /04	0,19	1,92 (+)	0,03
13/07	0,27	2,88 (+)	0,01
13/15	4,67	0,96 (–)	0,02
15/15	8,62	1,68 (–)	0,009
		ВПП, $n = 544$	ВПС, $n = 384$
12/12	4,41 (+)	0,24	0,01
15/07	0,37	2,88 (+)	0,03

Примечание: / – сочетание аллелей представлено: первый женский аллель, второй мужской. Знак (–) и (+) указывает на отрицательную и положительную селекцию соответственно.

*HLA-DRB1*13* и мужского *HLA-DRB1*15*. В этой группе показана повышенная по отношению к контрольной группе встречаемость в семейной паре женского *HLA-DRB1*03* (17), *HLA-DRB1*13* и мужских *HLA-DRB1*04* и *HLA-DRB1*07* соответственно. В таблице продемонстрировано, что мужские аллели *HLA-DRB1*04* и *HLA-DRB1*07* чаще встречались в семейных парах как в группе ВПП, так и ВПС по отношению к контролю. Особое внимание необходимо уделить положительному отбору семейного сочетания в группе супругов, имеющих детей с ВПС, аллелей *HLA-DRB1*17* с *HLA-DRB1*04*. Данный гетерозиготный генотип, как и аллели *HLA-DRB1*04*, *HLA-DRB1*03* (17) по отдельности, ассоциирован с большим количеством аутоиммунных заболеваний, в том числе с инсулин-зависимым сахарным диабетом [15, 16]. Таким образом, отклонение в основных группах на этом этапе отбора направлено на создание предпосылок для формирования иммуновоспалительной патологии, в том числе затрагивающей репродуктивный потенциал.

Сравнение двух основных групп ВПП и ВПС между собой показало, что дифференцирующими маркерами в них явились аллели *HLA-DRB1*12*, *HLA-DRB1*15* и *HLA-DRB1*07*. Гомологичность семей по *HLA-DRB1*12* статистически значимо отличало группы ВПП и от группы ВПС.

Отклонения от случайного сочетания *HLA-DRB1* в семейных парах и от равновероятного наследования могут повлиять на особенности распределения аллелей *HLA-DRB1* у здоровых и больных детей. Проведенное сравнение частот встречаемости аллелей *HLA-DRB1* в контрольной и в основных группах детей выявило аллели, ассоциированные с патологией (табл. 4). Так, получены статистически значи-

мые различия в частоте встречаемости для трех аллелей *HLA-DRB1*03* (17), *HLA-DRB1*12*, *HLA-DRB1*15*.

Положительно ассоциированным с ВПП оказался аллель *HLA-DRB1*12* (ОШ = 5,72; ДИ 95 % = 2,25–14,42; $p < 0,0001$). Для группы детей с ВПС положительно ассоциированным оказался аллель *HLA-DRB1*15* (ОШ = 1,83; ДИ 95 % = 0,73–4,71; $p = 0,03$). Различия по данному аллелю выявлены только при сравнении с контрольной группой, но не с группой ВПП. Отрицательная ассоциация с ВПП выявлена для *HLA-DRB1*03* (17) (ОШ = 0,13; ДИ 95 % = 0,05–0,32; $p = 0,0008$). Достоверные различия по его частоте получены для групп ВПП и ВПС.

Проведенное исследование показало, что в группе семей с ВПС и ВПП имеет место отклонение от основного популяционного отбора. В настоящем исследовании получено не только отклонение от расчетных величин гомозиготности для группы ВПС, но и достоверное увеличение встречаемости в семейных парах общего *HLA-DRB1*04*, женского *HLA-DRB1*07* с мужскими *HLA-DRB1*13*, *HLA-DRB1*17* и женского *HLA-DRB1*13* с мужским *HLA-DRB1*14*. Кроме того, в группе ВПС частоты встречаемости определенных аллелей в семейных парах отличались и от контрольной группы родителей. Исходя из этого, можно говорить, что формирование супружеских пар, у которых в последующем поколении рождались дети со спорадическими ВПС, без хромосомных заболеваний, подвержено дополнительным социальным и/или биологическим факторам, отклоняющим его от физиологической биологической ассортативности по HLA (отклонение от случайного выбора) и физиологической социальной (отклонения от группы контроля). И это послы хорошо согласуется со значимыми ассоциациями спорадических ВПС у детей с медико-социальными родитель-

Таблица 4

Частота аллелей у детей обследованных групп

Аллели	1. Контроль дети		2. ВППП дети		3. ВПС дети		P
	Всего, n = 264	%	Всего, n = 136	%	Всего, n = 96	%	
01	35	13,26	10	7,46	14	9,93	0,05
03 (17)	37	14,02	2	1,49	15	10,64	$p_{1,2} = 0,0008$, $p_{2,3} = 0,004$
04	32	12,12	13	9,70	20	14,18	0,05
07	25	9,47	10	7,46	20	14,18	0,05
08	15	5,68	2	1,49	5	3,55	0,05
09	10	3,79	1	0,75	1	0,71	0,05
10	2	0,76	1	0,75	2	1,42	0,05
11	34	12,88	24	17,91	24	17,02	0,05
12	14	5,30	33	24,63	2	1,42	$p_{1,2} < 0,0001$, $p_{2,3} = 0,0001$
13	24	9,09	15	11,19	10	7,09	0,05
14	7	2,65	3	2,24	3	2,13	0,05
15	24	9,09	19	14,18	22	15,60	$p_{1,3} = 0,03$
16	5	1,89	1	0,75	3	2,13	0,05

Примечание: n – всего количество аллелей у детей, * – $p < 0,05$.

скими факторами, в том числе и со степенью заботы супругов друг о друге [17]. Л.И. Корочкин отмечает, что в широком понимании ранний онтогенез начинается задолго до оплодотворения и эмбрио-, фетогенеза, и такие события, как образование супружеских пар и гаметогенез, правомерно отнести к «преадаптивным» процессам, отражающим этапы раннего онтогенеза [18]. В этот период онтогенеза индивидуумы не случайным образом определяются с супружеским выбором, и этот этап может быть важным в отношении формирования здоровья или заболеваний в последующем поколении. Доказана роль локуса HLA в детерминировании ассортативного выбора, связанного с ольфакторной рецепцией феромониальных запахов [19].

Вполне вероятно, что формирование супружеских пар в случае с ВПС у детей могло носить ассортативный характер по низкому или высокому уровню образования, интеллекта, материального обеспечения и другим социальным факторам [17]. С учетом ассоциаций аллелей *HLA-DRB1* с иммуновоспалительными заболеваниями обращает внимание на себя приверженность в этой группе к образованию супружеских пар с общим *HLA-DRB1*04*. Неоднократные исследования показали, что данный аллель ассоциирован с иммунопатологией: ревматоидный артрит, инсулинзависимый сахарный диабет, псориаз и другие заболевания [13, 20, 21]. Высказано мнение, что презентация антигенов молекулой HLA-DR, кодируемой этим аллелем, идет с выраженной активацией Т-хелперов, в том числе с частичной аутонаправленностью. Транспортируя это положение на иммунный ответ к ауто- и аллоантигенам в системе «мать – эмбрион / плод», можно предположить декомпенсацию воспалительного процесса в этой системе и развитие порока сердца у эмбриона как воспалительной эмбриопатии. Также в этой группе семей выявлена высокая (по отношению к контроль-

ной группе) частота встречаемости сочетания женского *HLA-DRB1*03 (17)* и мужского *HLA-DRB1*04*. Аллель *HLA-DRB1*03 (17)* имеет ассоциации с такой иммунопатологией, как системная красная волчанка, инсулинзависимый сахарный диабет, бронхиальная астма и другие заболевания [20, 21]. С этих позиций данные пары имеют риск воспалительных эмбриопатий, в том числе и с врожденными пороками сердца.

Вторым этапом популяционного отбора является мейотический драйв, реализующийся на уровне неслучайного отбора гамет, участвующих в оплодотворении, и за счет асимметричного деления при оогенезе и сперматогенезе. Допустимо и наличие селекции при фертилизации за счет тропности сперматозоидов к яйцеклеткам с определенными наборами гаплотипов HLA [7]. Важным этапом в селекции наследования HLA от родителей к их детям отводится иммунным взаимодействиям полуаллогенного эмбриона с материнским иммунным окружением [22]. Доказано, что эмбрионы, несущие отцовские HLA-антигены, отличавшиеся от материнских антигенов (гистонесовместимая беременность), имеют селективное преимущество в выживании по сравнению с зародышами с отцовскими HLA, такими же, как у матери (гистосовместимая беременность) [12].

Надо отметить, что в отношении полиморфизма HLA чувствительность или устойчивость к инфекционному и паразитарному микроокружению оказывает селективное влияние. Так, формирование полиморфизмов в антиген-распознающих сайтах молекул HLA I и II классов связано с естественным отбором, ассоциированным с инфекционным, паразитарным макро- и микроокружением [7]. Особое значение имеет гетерозиготное предпочтение, реализующееся через сверхдоминантную селекцию резистентных к инфекционным агентам HLA-аллелей. Ограничивающее действие на возрастающую

популяционную гетерозиготность оказывает частотно-зависимая селекция. Учитывая феномен контроля через HLA иммунного распознавания патогена, были получены эмпирические доказательства частотно-зависимой селекции, которая реализуется таким образом, что специфические HLA-гаплотипы, резистентные к одним инфекционным агентам, в то же время оказываются чувствительными к другим. [7]. Надо отметить, что ассоциированная чувствительность и резистентность к инфекционным агентам начинается внутриутробно к резистентным вирусам и к материнскому микробиому.

Именно с этих позиций можно трактовать полученные результаты: что при ВППП в семейных парах доминировала гомологичность по *HLADRB1*12*, а при ВПС – женский *HLADRB1*15* и мужской *HLADRB1*07*. Так, по данным литературы [23] *HLADRB1*12* ассоциирован с чувствительностью к герпетическим вирусам, а *HLADRB1*15* – к активации условно-патогенных бактерий и формированию на них гуморальных адаптивных иммунных реакций по IgG- и IgE-типам (инфекционно-аллергический процесс) [24]. Соответственно, вклад в фор-

мирование ВППП вносит активация геномов резидентных вирусов, в том числе в системе «мать – эмбрион / плод»; а в формирование ВПС – условно-патогенных микроорганизмов репродуктивного тракта женщины.

Выводы. Аллели *HLADRB1*12* и *HLADRB1*15* являются кандидатными не только в отношении формирования нового сценария популяционного отбора при ВППП и ВПС соответственно, но и маркерами риска формирования врожденных аномалий с учетом отклонений от нормальной биологической ассортативности по HLA.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке комплексной программы фундаментальных научных исследований СО РАН в рамках фундаментальной темы НИИ КПССЗ № 0546-2019-0002 «Патогенетическое обоснование разработки имплантатов для сердечно-сосудистой хирургии на основе биосовместимых материалов, с реализацией пациент-ориентированного подхода с использованием математического моделирования, тканевой инженерии и геномных предикторов».

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

Список литературы

1. Petersdorf E.W., O'Uigin C. The MHC in the era of next-generation sequencing: Implications for bridging structure with function // *Human immunology*. – 2019. – Vol. 80, № 1. – P. 67–78. DOI: 10.1016/j.humimm.2018.10.002
2. The distributions of HLA-A, HLA-B, HLA-C, HLA-DRB1 and HLA-DQB1 allele and haplotype at high-resolution level in Zhejiang Han population of China / N. Chen, W. Wang, F. Wang, L. Dong, S. Zhao, W. Zhang, F. Zhu // *International journal of immunogenetics*. – 2019. – Vol. 46, № 1. – P. 7–16. DOI: 10.1111/iji.12411
3. Vojvodić S.I., Ademović-Sazdanić D.S. Distribution of HLA DRB1, DQA1 and DQB1 Allelic Main Groups in the Vojvodina Province of Serbia: Genetic Relatedness with Other Populations // *Russian Journal of Genetics*. – 2019. – Vol. 55, № 1. – P. 124–130. DOI: 10.1111/j.1744-313X.2012.01122.x
4. Meta-Analysis Identifies Major Histocompatibility Complex Loci in or Near HLA-DRB1, HLA-DQA1, HLA-C as Associated with Leprosy in Chinese Han Population / X. Zhang, Y. Cheng, Q. Zhang, X. Wang, Y. Lin, C. Yang, X. Fan [et al.] // *Meta-Analysis*. – 2019. – Vol. 139, № 4. – P. 957–960. DOI: 10.1016/j.jid.2018.09.029
5. Distribution of antigens of the HLA-system in married couples with reproductive disorders / A.N. Kiseleva, E.V. Butina, N.V. Isaeva, G.A. Zaitseva, N.M. Pozdeev, V.V. Ovchinnikov // *Obstetrics, Gynecology and Reproduction*. – 2019. – Vol. 13, № 2. – P. 111–118. DOI: 10.17749/2313-7347.2019.13.2.111-118
6. Identification of HLA-DRB1*04: 10 allele as risk allele for Japanese moyamoya disease and its association with autoimmune thyroid disease: A case-control study / R. Tashiro, K. Niizuma, S.S. Khor, K. Tokunaga, M. Fujimura, H. Sakata, T. Tominaga // *PloS One*. – 2019. – Vol. 14, № 8. – P. e0220858. DOI: 10.1371/journal.pone.0220858
7. Роль генов иммунной презентации и иммунной регуляции в формировании потерь плода / О.С. Макаренко, Л.А. Гордеева, А.В. Шабалдин, О.А. Глушкова, И.В. Шаталина, Т.А. Симонова, М.Л. Филипенко, А.Н. Глушков, П.М. Крюков // *Мать и дитя в Кузбассе*. – 2008. – Т. 34, № 3. – С. 13–20.
8. Mortality for critical congenital heart diseases and associated risk factors in newborns. A cohort study / S.A.V.D.A. Lopes, I.C.B. Guimarães, S.F.D.O. Costa, A.X. Acosta, K.A. Sandes, C.M.C. Mendes // *Arquivos brasileiros de cardiologia*. – 2018. – Vol. 111, № 5. – P. 666–673. DOI: 10.5935/abc.20180203
9. Epidemiologic Study of Congenital Heart Diseases and Its Related Factors in Children Referred to the Pediatric Cardiac Clinic of Birjand University of Medical Sciences, Iran / A.S. Kafian, A. Mirshahi, A. Amouzeschi, A.A. Ramazani, B. Bahman, T.M. Hasanzadeh, F. Salehi // *International Journal of Pediatrics*. – 2019. – Vol. 7, № 12. – P. 10455–10463. DOI: 10.22038/ijp.2019.41467.3497
10. Maternal HLA-DR, HLA-DQ, and HLA-DP loci are linked with altered risk of recurrent pregnancy loss in Lebanese women: A case-control study / G. Aimagambetova, A. Hajje, Z.H. Malalla, R.R. Finan, S. Sarray, W.Y. Almawi // *American Journal of Reproductive Immunology*. – 2019. – Vol. 82, № 4. – P. e13173. DOI: 10.1111/aji.13173
11. Maternal and fetal human leukocyte antigen class Ia and II alleles in severe preeclampsia and eclampsia / J. Emmery, R. Hachmon, C.W. Pyo, W.C. Nelson, D.E. Geraghty, A.M.N. Andersen, T.V.F. Hviid // *Genes & Immunity*. – 2016. – Vol. 17, № 4. – P. 251–260. DOI: 10.1038/gene.2016.20
12. Grimstad F., Krieg S. Immunogenetic contributions to recurrent pregnancy loss // *Journal of assisted reproduction and genetics*. – 2016. – Vol. 33, № 7. – P. 833–847. DOI: 10.1007/s10815-016-0720-6
13. Clinical importance of hla-drb1 locus genes in rheumatoid arthritis / V. Guseva, S. Lapin, V. Myachikova, A. Maslyanski, A. Chuchlovin, N. Ivanova, O. Tkachenko, T. Blinova, A. Totolian // *Medical Immunology (Russia)*. – 2019. – Vol. 21, № 2. – P. 333–340 DOI: 10.15789/1563-0625-2019-2-333-340

14. Bland J.M., Altman D.G. The odds ratio // BMJ. – 2016. – Vol. 320, № 7247. – P. 1468. DOI: 10.1136/bmj.320.7247.1468
15. HLA-DRB1 gene polymorphisms in pediatric patients with type 1 autoimmune hepatitis and type 1 autoimmune hepatitis overlap syndrome with autoimmune cholangitis / M.E.G. Nunes, D.V. Rosa, E.D.T. Fagundes, A.R. Ferreira, D.M.D. Miranda, P.M. Ferri Liu // Arquivos de gastroenterologia. – 2019. – Vol. 56, № 2. – P. 146–150. DOI: 10.1590/S0004-2803.201900000-29
16. Identification of HLA-DRB1*04:10 allele as risk allele for Japanese moyamoya disease and its association with autoimmune thyroid disease: A case-control study / R. Tashiro, K. Niizuma, S.S. Khor, K. Tokunaga, M. Fujimura, H. Sakata, T. Tominaga // PLoS One. – 2019. – Vol. 14, № 8. – P. e0220858. DOI: 10.1371/journal.pone.0220858
17. Maternal Socioeconomic Status and the Risk of Congenital Heart Defects in Offspring: A Meta-Analysis of 33 Studies / D. Yu, Y. Feng, L. Yang, M. Da, C. Fan, S. Wang, X. Mo // PLoS ONE. – 2014. – Vol. 9, № 10. – P. e111056. DOI: 10.1371/journal.pone.0111056
18. Корочкин Л.И. Онтогенез, эволюция и гены // Природа. – 2002. – № 7. – С. 63–77.
19. Особенности ольфакторного отбора по HLA-DRB1 среди неродственных доноров разного пола / А.А. Чуянова, А.В. Цепочкина, А.В. Шабалдин, Н.А. Литвинова, К.Ю. Зубрикова, М.Н. Болдырева // Иммунология. – 2015. – Т. 36, № 2. – С. 90–95.
20. DNA methylation as a mediator of HLA-DRB1*15: 01 and a protective variant in multiple sclerosis / L. Kular, Y. Liu, S. Ruhrmann, G. Zheleznyakova, F. Marabita, D. Gomez-Cabrero, S. Aeinehband [et al.] // Nature communications. – 2018. – Vol. 9, № 1. – P. 1–15. DOI: 10.1038/s41467-018-04732-5
21. Association of HLA-DR-DQ alleles, haplotypes, and diplotypes with Type 1 diabetes in Saudis / N. Eltayeb-Elsheikh, E. Khalil, M. Mubasher, A. Al Jurayyan, H. AlHarthi, W.H. Omer, G. Elghazali // Diabetes/Metabolism Research and Reviews. – 2020. – P. e3345. DOI: 10.1002/dmrr.3345
22. Erlebacher A. Immunology of the maternal-fetal interface // Annu. Rev. Immunol. – 2013. – Vol. 31. – P. 387–411. DOI: 10.1146/annurev-immunol-032712-100003
23. Kovalic A.J., Bonkovsky H.L. The Pathogenesis of Autoimmune Liver Diseases // In Diagnosis and Management of Autoimmune Hepatitis. – 2020. – P. 9–50.
24. Eidan A.J., AL-Harmoosh R.A., Hadi Z.J. Association of HLA-DRB1 Alleles with Allergic Asthma and Total Serum IgE Levels in Iraqi Adults Patients // Indian Journal of Public Health Research & Development. – 2020. – Vol. 10, № 1. – P. 505–510. DOI: 10.5958/0976-5506.2019.00099.8

Сочетание аллелей HLA-DRB1 как условие реализации риска формирования спорадических врожденных пороков сердца и врожденных пороков развития плода без хромосомных заболеваний / А.В. Шабалдин, А.В. Цепочкина, О.В. Долгих, Е.В. Шабалдина, А.В. Понасенко // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 133–142. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.14

UDC 612.17

DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.14.eng



Research article

COMBINATION OF HLA-DRB1 ALLELES AS A FACTOR CAUSING RISKS OF SPORADIC CONGENITAL HEART DEFECTS AND CONGENITAL MALFORMATIONS WITHOUT CHROMOSOME DISEASES

A.V. Shabaldin^{1,2}, A.V. Tsepokina¹, O.V. Dolgikh³, E.V. Shabaldina², A.V. Ponasenko¹

¹Scientific Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, 6 Sosnovyi Blvd., Kemerovo, 650002, Russian Federation

²Kemerovo State Medical University, 22a Voroshilova Str., Kemerovo, 650056, Russian Federation

³Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

Congenital heart defects are anomalies that are becoming more and more frequent every year. Their specific weight is the highest among all the defects and malformations in fetus. Besides, children with sporadic congenital heart defects and malformations are still born rather frequently. We made an assumption that congenital heart defects (CHD) and congenital malformations (CM) were formed due to inflammatory process decompensation within «mother – fetus» system occurring in case of a conflict as per HLA between a semi-allogenic fetus and its mother's microenvironment. A risk of such a conflict might be associated with certain HLA combinations in parents' genotypes.

Our research goal was to reveal peculiarities of HLA-DRB1 alleles combinations in married couples who had children with sporadic CHD and CM without any chromosome diseases and to determine whether such peculiarities could cause risks of congenital anomalies.

We determined frequency of 14 alleles in HLA-DRB1 gene in all people who took part in the research.

*Our research allowed establishing that parents whose children suffered from CHD more frequently had common HLA-DRB1*04, female HLA-DRB1*07 with male HLA-DRB1*13, HLA-DRB1*17 and female HLA-DRB1*13 with male HLA-DRB1*14. Children who suffered from CM more frequently had parents who were homologous as per HLA-DRB1*12, as well as with female HLA-DRB1*12 and male HLA-DRB1*01, HLA-DRB1*04, HLA-DRB1*13, and HLA-DRB1*15; this greater frequency was statistically significant. We also detected an authentic increase in frequency of HLA-DRB1*12 allele in children against their parents. Children with CM also had HLA-DRB1*12 allele statistically significantly more frequently than healthy children.*

Peculiarities related to HLA-DRB1 alleles combination are genetic predictors of CHD and CM occurrence; their determination will allow minimizing risks of such disorders due to early diagnostics and timely prevention.

Key words: major histocompatibility complex, HLA-DRB1, alleles, congenital heart diseases, congenital malformations, risk factor, married couples, spouse compatibility.

References

1. Petersdorf E.W., O'Heugan C. The MHC in the era of next-generation sequencing: Implications for bridging structure with function. *Human immunology*, 2019, vol. 80, no. 1, pp. 67–78. DOI: 10.1016/j.humimm.2018.10.002
2. Chen N., Wang W., Wang F., Dong L., Zhao S., Zhang W., Zhu F. The distributions of HLA-A, HLA-B, HLA-C, HLA-DRB1 and HLA-DQB1 allele and haplotype at high-resolution level in Zhejiang Han population of China. *International journal of immunogenetics*, 2019, vol. 46, no. 1, pp. 7–16. DOI: 10.1111/iji.12411
3. Vojvodić S.I., Ademović-Sazdanić D.S. Distribution of HLA DRB1, DQA1 and DQB1 Allelic Main Groups in the Vojvodina Province of Serbia: Genetic Relatedness with Other Populations. *Russian Journal of Genetics*, 2019, vol. 55, no. 1, pp. 124–130. DOI: 10.1111/j.1744-313X.2012.01122.x
4. Zhang X., Cheng Y., Zhang Q., Wang X., Lin Y., Yang C., Fan X. [et al.]. Meta-Analysis Identifies Major Histocompatibility Complex Loci in or Near HLA-DRB1, HLA-DQA1, HLA-C as Associated with Leprosy in Chinese Han Population. *Meta-Analysis*, 2019, vol. 139, no. 4, pp. 957–960. DOI: 10.1016/j.jid.2018.09.029
5. Kiseleva A.N., Butina E.V., Isaeva N.V., Zaitseva G.A., Pozdeev N.M., Ovchinnikov V.V. Distribution of antigens of the HLA-system in married couples with reproductive disorders. *Obstetrics, Gynecology and Reproduction*, 2019, vol. 13, no. 2, pp. 111–118. DOI: 10.17749/2313-7347.2019.13.2.111-118
6. Tashiro R., Niizuma K., Khor S.S., Tokunaga K., Fujimura M., Sakata H., Tominaga T. Identification of HLA-DRB1*04:10 allele as risk allele for Japanese moyamoya disease and its association with autoimmune thyroid disease: A case-control study. *PloS One*, 2019, vol. 14, no. 8, pp. e0220858. DOI: 10.1371/journal.pone.0220858
7. Makarchenko O.S., Gordeeva L.A., Shabaldin A.V., Glushkova O.A., Shatalina I.V., Simonova T.A., Filipenko M.L., Glushkov A.N., Kryukov P.M. Genes' immune presentation and immunoregulations role in forming conditions for fetus's losses. *Mat' i ditya v Kuzbasse*, 2008, vol. 34, no. 3, pp. 13–20 (in Russian).
8. Lopes S.A.V.D.A., Guimarães I.C.B., Costa S.F.D.O., Acosta A.X., Sandes K.A., Mendes C.M.C. Mortality for critical congenital heart diseases and associated risk factors in newborns. A cohort study. *Arquivos brasileiros de cardiologia*, 2018, vol. 111, no. 5, pp. 666–673. DOI: 10.5935/abc.20180203
9. Kafian A.S., Mirshahi A., Amouzeschi A., Ramazani A.A., Bahman B., Hasanazadeh T.M., Salehi F. Epidemiologic Study of Congenital Heart Diseases and Its Related Factors in Children Referred to the Pediatric Cardiac Clinic of Birjand University of Medical Sciences, Iran. *International Journal of Pediatrics*, 2019, vol. 7, no. 12, pp. 10455–10463. DOI: 10.22038/ijp.2019.41467.3497
10. Aimagambetova G., Hajje A., Malalla Z.H., Finan R.R., Sarray S., Almawi W.Y. Maternal HLA-DR, HLA-DQ, and HLA-DP loci are linked with altered risk of recurrent pregnancy loss in Lebanese women: A case-control study. *American Journal of Reproductive Immunology*, 2019, vol. 82, no. 4, pp. e13173. DOI: 10.1111/aji.13173
11. Emmery J., Hachmon R., Pyo C.W., Nelson W.C., Geraghty D.E., Andersen A.M.N., Hviid T.V.F. Maternal and fetal human leukocyte antigen class Ia and II alleles in severe preeclampsia and eclampsia. *Genes & Immunity*, 2016, vol. 17, no. 4, pp. 251–260. DOI: 10.1038/gene.2016.20
12. Grimstad F., Krieg S. Immunogenetic contributions to recurrent pregnancy loss. *Journal of assisted reproduction and genetics*, 2016, vol. 33, no. 7, pp. 833–847. DOI: 10.1007/s10815-016-0720-6

© Shabaldin A.V., Tsepokina A.V., Dolgikh O.V., Shabaldina E.V., Ponasenko A.V., 2021

Andrey V. Shabaldin – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Leading researcher at the Heart Defects Laboratory; Professor at the Department for Microbiology, Immunology, and Virology (e-mail: weit2007@yandex.ru; tel.: +7 (903) 907-51-97; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8785-7896>).

Anna V. Tsepokina – Junior researcher at the Genome Medicine Laboratory (cepoav1991@gmail.com; tel.: +7 (950) 586-33-97; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4467-8732>).

Elena V. Shabaldina – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Otorhinolaryngology Department (e-mail: weit2007@yandex.ru; tel.: +7 (951) 163-90-11; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0450-2767>).

Oleg V. Dolgikh – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department for Immune-Biological Diagnostic Procedures (e-mail: oleg@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 236-39-30; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4860-3145>).

Anastasia V. Ponasenko – Candidate of Medical Sciences, Head of the Genome Medicine Laboratory (e-mail: ponaav@kemcardio.ru; tel.: +7 (951) 591-05-50; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3002-2863>).

13. Guseva V., Lapin S., Myachikova V., Maslyanski A., Chuchlovin A., Ivanova N., Tkachenko O., Blinova T., Totolian A. Clinical importance of determination of hla-drb1 locus genes in rheumatoid arthritis. *Medical Immunology (Russia)*, 2019, vol. 21, no. 2, pp. 333–340. DOI: 10.15789/1563-0625-2019-2-333-340
14. Bland J.M., Altman D.G. The odds ratio. *BMJ*, 2016, vol. 320, no. 7247, pp. 1468. DOI: 10.1136/bmj.320.7247.1468
15. Nunes M.E.G., Rosa D.V., Fagundes E.D.T., Ferreira A.R., Miranda D.M.D., Ferri Liu P.M. HLA-DRB1 gene polymorphisms in pediatric patients with type 1 autoimmune hepatitis and type 1 autoimmune hepatitis overlap syndrome with autoimmune cholangitis. *Arquivos de gastroenterologia*, 2019, vol. 56, no. 2, pp. 146–150. DOI: 10.1590/S0004-2803.201900000-29
16. Tashiro R., Niizuma K., Khor S.S., Tokunaga K., Fujimura M., Sakata H., Tominaga T. Identification of HLA-DRB1*04:10 allele as risk allele for Japanese moyamoya disease and its association with autoimmune thyroid disease: A case-control study. *PloS One*, 2019, vol. 14, no. 8, pp. e0220858. DOI: 10.1371/journal.pone.0220858
17. Yu D., Feng Y., Yang L., Da M., Fan C., Wang S., Mo X. Maternal Socioeconomic Status and the Risk of Congenital Heart Defects in Offspring: A Meta-Analysis of 33 Studies. *PLoS ONE*, 2014, vol. 9, no. 10, pp. e111056. DOI: 10.1371/journal.pone.0111056
18. Korochkin L.I. Ontogenez, evolyutsiya i geny [Ontogenesis, evolution, and genes]. *Priroda*, 2002, no. 7, pp. 63–77 (in Russian).
19. Chuyanov A.A., Tsepokina A.V., Shabaldin A.V., Litvinova N.A., Zubrikova K.Yu., Boldyreva M.N. Features olfactory screening for HLA-DRB1 among unrelated donors of different sex. *Immunologiya*, 2015, vol. 36, no. 2, pp. 90–95 (in Russian).
20. Kular L., Liu Y., Ruhrmann S., Zheleznyakova G., Marabita F., Gomez-Cabrero D., Aeinehband S. [et al.]. DNA methylation as a mediator of HLA-DRB1*15: 01 and a protective variant in multiple sclerosis. *Nature communications*, 2018, vol. 9, no. 1, pp. 1–15. DOI: 10.1038/s41467-018-04732-5
21. Eltayeb-Elsheikh N., Khalil E., Mubasher M., Al Jurayyan A., AlHarthi H., Omer W.H., Elghazali G. Association of HLA-DR-DQ alleles, haplotypes, and diplotypes with Type 1 diabetes in Saudis. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 2020, pp. e3345. DOI: 10.1002/dmrr.3345
22. Erlebacher A. Immunology of the maternal-fetal interface. *Annu. Rev. Immunol.*, 2013, vol. 31, pp. 387–411. DOI: 10.1146/annurev-immunol-032712-100003
23. Kovalic A.J., Bonkovsky H.L. The Pathogenesis of Autoimmune Liver Diseases. In *Diagnosis and Management of Autoimmune Hepatitis*, 2020, pp. 9–50.
24. Eidan A.J., AL-Harmoosh R.A., Hadi Z.J. Association of HLA-DRB1 Alleles with Allergic Asthma and Total Serum IgE Levels in Iraqi Adults Patients. *Indian Journal of Public Health Research & Development*, 2020, vol. 10, no. 1, pp. 505–510. DOI: 10.5958/0976-5506.2019.00099.8

Shabaldin A.V., Tsepokina A.V., Dolgikh O.V., Shabaldina E.V., Ponasenko A.V. Combination of hla-drb1 alleles as a factor causing risks of sporadic congenital heart defects and congenital malformations without chromosome diseaseS. Health Risk Analysis, 2021, no. 1, pp. 133–142. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.14.eng

Получена: 26.09.2020

Принята: 03.03.2021

Опубликована: 30.03.2021



ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ РИСКА ЗДОРОВЬЮ В УСЛОВИЯХ САМОИЗОЛЯЦИИ

О.В. Митрохин, Н.А. Ермакова, Е.В. Белова

Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Россия, 119435, г. Москва, ул. Большая Пироговская, 2, стр. 2

В связи с режимом самоизоляции, в условиях которого были вынуждены находиться миллиарды человек в течение нескольких месяцев, теоретическое обоснование санитарно-гигиенической оценки риска здоровью населения является весьма актуальной.

Объектом исследования является население, находившееся в режиме самоизоляции в условиях пандемии коронавирусной инфекции. В исследовании были теоретически обоснованы приоритетные факторы риска для здоровья населения, характеризующиеся гиподинамией, гипоксией, возможными нарушениями режима питания, труда и отдыха, психоэмоциональным напряжением. Эти факторы могут способствовать росту уровня неинфекционной заболеваемости населения.

Теоретически обоснована санитарно-гигиеническая оценка факторов риска здоровью населения в условиях самоизоляции, выявлены приоритетные факторы риска возникновения неинфекционной заболеваемости и предложены меры по ее профилактике.

Применены аналитические, информационные, статистические методы исследований. Использована база данных нормативно-правовых документов санитарно-гигиенического нормирования Российской Федерации по разделам гигиены питания, гигиены труда, гигиены детей и подростков и др., научная литература российских и зарубежных авторов. Проанализированы документы Всемирной организации здравоохранения, а также органов здравоохранения стран в условиях пандемии коронавирусной инфекции.

При теоретическом обосновании санитарно-гигиенической оценки риска развития неинфекционной заболеваемости населения в условиях режима самоизоляции определены ведущие факторы риска и предложены гигиенические критерии оценки самоизоляции. Теоретически обоснован гигиенический индекс самоизоляции и предложена его балльная оценка. Существующая в Российской Федерации система санитарно-гигиенического нормирования, устанавливающая требования к режиму питания, труда и отдыха, двигательной активности населения, использована для гигиенической оценки самоизоляции и его балльной оценки.

Обоснованы меры минимизации рисков для здоровья человека в условиях самоизоляции, базирующиеся на санитарно-гигиенических нормативах. Так как основными санитарно-гигиеническими факторами риска для здоровья человека являются гиподинамия и гипоксия, предлагается адекватный режим питания с оптимальной энергоемкостью, соответствующие режим двигательной активности, режим труда и отдыха.

Ключевые слова: COVID-19, самоизоляция, оценка риска здоровью, санитарно-гигиеническое нормирование, профилактика, гигиена, факторы риска, здоровье населения.

Самоизоляция представляет собой комплекс вынужденных административных, санитарно-гигиенических, санитарно-эпидемиологических, профилактических мероприятий, направленных на механизм передачи инфекционного агента, восприимчивых и контактных лиц с целью предотвращения

риска распространения и возникновения новых случаев заражения коронавирусной инфекцией [1].

Режим самоизоляции с позиции гигиены следует определить как вынужденное длительное (более месяца) пребывание человека в условиях ограниченного пространства помещений, снижение дви-

© Митрохин О.В., Ермакова Н.А., Белова Е.В., 2021

Митрохин Олег Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей гигиены (e-mail: mov1163@yandex.ru; тел.: 8 (499) 248-19-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6403-0423>).

Ермакова Нина Анатольевна – старший преподаватель кафедры общей гигиены (e-mail: ninaok11@gmail.com; тел.: 8 (916) 150-07-06; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9745-4265>).

Белова Елена Владимировна – ассистент кафедры общей гигиены (e-mail: ms.ekochina@mail.ru; тел.: 8 (985) 085-39-95; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2134-6348>).

гательной активности, недостаточное пребывание на свежем воздухе [2].

Самоизоляция может быть следующих видов: в целях научного эксперимента, самоизоляция здоровых людей и больных легкими формами заболеваний в домашних условиях, самоизоляция для медицинских работников на рабочем месте [3].

Самоизоляцию в целях научных исследований для космических полетов начали проводить еще в конце 60-х гг. в Институте медико-биологических проблем РАН¹. Проводились углубленные исследования по диагностике пищевого статуса, пищевых предпочтений или их изменений, происходящих в случае использования одной и той же диеты в течение длительного времени в изоляционных условиях [4]. Также испытания показали, что у изолированных возникают критические психологические проблемы [5].

В 2020 г. стартовал международный изоляционный эксперимент SIRIUS-19, программа которого рассчитана на период до пяти лет. Данное исследование по изучению активности экипажа в условиях искусственной среды позволит оптимизировать медико-санитарные нормы, выверить нужные пищевые ресурсы и необходимые профилактические мероприятия. В итоге после проведения серии исследований будут сформированы медико-санитарные требования к компоновке области персонального пространства, баз и кораблей. По полученным результатам можно спрогнозировать факторы риска, оказывающие влияние в условиях изоляции, и обосновать их профилактику, разработать различные методики по коррекции состояния здоровья экипажа. Указанная самоизоляция применяется добровольцами в научно-исследовательских целях, при этом люди находятся под постоянным медицинским наблюдением².

Люди, имеющие легкие формы заболевания, контакт с инфицированными, лица старше 65 лет и здоровые граждане были вынуждены находиться в самоизоляции в домашних условиях длительное время для предотвращения передачи инфекционного агента в популяции. Были введены мероприятия, направленные на соблюдение «социального дистанцирования», применение в общественных местах средств индивидуальной защиты (масок, перчаток, антисептиков), распространение в средствах массовой информации данных о рекомендуемых мерах предотвращения распространения коронавирусной инфекции среди населения [6].

В связи с длительным пребыванием в замкнутом пространстве, минимизацией социального взаимодействия, дисгармонии в питании и физической активности возрастают риски для здоровья населе-

ния, связанные с развитием и обострением соматических и психических заболеваний [7].

Режим самоизоляции затрагивает значительное число населения различного пола и возраста, в том числе имеющих различные хронические заболевания. Самоизоляция усугубляется высоким нервным напряжением и длительностью пребывания до нескольких месяцев [8].

Цель исследования – теоретически обосновать санитарно-гигиеническую оценку факторов риска здоровью населения в условиях самоизоляции, выявить приоритетные факторы риска возникновения неинфекционной заболеваемости и предложить меры по ее профилактике.

Задачи исследования:

1. Выявить факторы риска для здоровья населения в период нахождения на режиме самоизоляции.
2. Теоретически обосновать комплексную гигиеническую оценку самоизоляции по приоритетным критериям.
3. Теоретически обосновать и предложить гигиенический индекс самоизоляции и обосновать балльную оценку риска здоровью населения.
4. Предложить меры по минимизации рисков для здоровья человека в условиях самоизоляции.

Материалы и методы. В исследовании использованы статистические, информационные, аналитические методы. Проведен анализ базы данных нормативно-правовой документации санитарно-гигиенического нормирования Российской Федерации.

Использованы гигиенические нормативы и физиологические нормы по следующим направлениям: гигиена питания (определение коэффициента физической активности в период самоизоляции, нормативы калорийности пищи для различных половозрастных групп и др.), гигиена детей и подростков (организация рабочего пространства, питания, физической активности ребенка), гигиена труда и другие.

Также проведен анализ документации, методических рекомендаций Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по профилактике развития психоэмоциональных расстройств и алиментарно-зависимых заболеваний у населения и изучен опыт органов здравоохранения других стран в условиях пандемии коронавирусной инфекции.

Результаты и их обсуждение. В связи с режимом самоизоляции возник ряд факторов риска, требующих санитарно-гигиенической оценки и разработки мер профилактики их вредного воздействия на здоровье населения [9]. К указанным факторам риска можно отнести:

- гиподинамию (низкая двигательная активность) в связи с длительным нахождением человека на ограниченной площади [10];

¹ Проект «Марс 500» [Электронный ресурс] // Mars 500. – URL: <http://mars500.imbp.ru/history.html> (дата обращения: 05.06.2020).

² Эксперимент «Марс 500» завершился [Электронный ресурс] // Роскосмос. – URL: <https://www.roscosmos.ru/17692/> (дата обращения: 05.06.2020).

– гипоксию (низкий уровень насыщения крови кислородом) в связи с ограничением пребывания человека на открытом воздухе [11];

– факторы питания (возможное неадекватное питание высококалорийными пищевыми продуктами при низкой двигательной активности) [12];

– изменение режима труда и отдыха [13].

В Российской Федерации создана база санитарно-гигиенического нормирования, включающая гигиенические нормативы и рекомендуемые физиологические нормы по питанию, двигательной активности, труду и отдыху [14].

Используются санитарно-гигиенические нормативы для оценки адекватного питания в соответствии с энерготратами различных половозрастных групп. Применяются гигиенические нормативы для физиологически оптимального пребывания в помещениях³, показателей микроклимата, двигательной активности, режимов труда и отдыха⁴.

Представляется целесообразным и необходимым применить гигиенические нормативы для использования в гигиенической оценке самоизоляции.

В России используются нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения, в которых определяются величины физиологически обоснованных норм потребления незаменимых пищевых веществ и источников энергии.

Потребность в энергии и пищевых веществах зависит от физической активности, характеризуемой коэффициентом физической активности, равным отношению энерготрат на выполнение конкретной работы к величине основного обмена. Все взрослое население в зависимости от величины энерготрат делится на пять групп для мужчин и четыре группы для женщин, учитывающих производственную физическую активность и иные энерготраты. Для режима самоизоляции представляется целесообразным применить I группу, которая характеризуется таким фактором риска, как очень низкая физическая активность как для мужчин, так и для женщин. Это работники преимущественно умственного труда (научные работники, преподаватели вузов, студен-

ты, специалисты-медики и др.). Коэффициент физической активности для данных групп граждан составляет 1,4⁵.

Учащимся общеобразовательных организаций начального и среднего профессионального образования, осваивающим образовательную программу в дистанционном режиме, необходимо соблюдать рекомендуемые нормы питания. Примерное меню разработано с учетом потребности в основных питательных веществах, с соблюдением рекомендуемой калорийности суточного рациона с дифференцировкой по возрастным группам (8–11; 12–18 лет)⁶.

При организации учебного процесса в домашней обстановке следует обратить особое внимание на наличие и количество перерывов между выполнением заданий и освоением учебного материала. Проветривание помещения, в котором осуществляется образовательный процесс, и пребывание на свежем воздухе в это время (балкон, лоджия, придомовая территория) необходимы для профилактики переутомления ребенка; из-за неудовлетворения биологической потребности в физической активности следует выполнять гимнастику, организовать самостоятельные спортивные занятия с использованием тренажеров, обучающих пособий и др.⁷.

К санитарно-гигиеническим критериям оценки самоизоляции как фактора риска развития неинфекционных заболеваний среди населения предлагается отнести следующие:

– место нахождения самоизолированных (квартира, дача, загородный дом, гостиница и др.), которые определяют возможность пребывания на свежем воздухе, ограничивающую гипоксию [15];

– размер площади помещений на одного самоизолированного человека, определяющих в том числе и двигательную активность [16];

– двигательная активность, в том числе физическая нагрузка, использование спортивных тренажеров, гимнастика и т.д. [17];

– время пребывания на свежем воздухе, в том числе прогулка с животными, посещение магазинов, аптек, частое проветривание помещений, пребывание на открытом воздухе на балконах, лоджиях и т.д. [18];

³ СанПиН 2.1.2.2645-10. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902222351> (дата обращения: 05.06.2020).

⁴ СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/420362948> (дата обращения: 05.06.2020).

⁵ МР 2.3.1.2432-08.2.3.1. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: методические рекомендации от 18.12.2008 г. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2008. – С. 6–8.

⁶ СанПиН 2.4.5.2409-08. Санитарно-эпидемиологические требования к организации питания обучающихся в общеобразовательных учреждениях, учреждениях начального и среднего профессионального образования: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902113767> (дата обращения: 05.06.2020).

⁷ Глобальные рекомендации по физической активности для здоровья. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_recommendations/ru/ (дата обращения: 05.06.2020).

- режим труда работающих в интерактивных условиях с использованием компьютерных технологий;
- режим отдыха [19];
- психоэмоциональное напряжение, длительное нахождение в замкнутом пространстве, состояние стресса [20].

На основании установленных санитарно-гигиенических критериев оценки самоизоляции представляется целесообразным теоретически обосновать гигиенический индекс самоизоляции. Указанный индекс позволяет определить риск развития неинфекционной заболеваемости в условиях самоизоляции на основании установленных гигиенических нормативов и рекомендуемых физиологических норм.

Гигиенический индекс самоизоляции (ГИС) прямо пропорционален коэффициентам двигательной активности человека (D), площади помещений (кубатуры воздуха) на одного изолированного (S), времени нахождения на свежем воздухе (T) и обратно пропорционален калорийности принимаемой пищи (K).

$$\text{ГИС} = \frac{D + S + T}{K},$$

где D – коэффициент двигательной активности человека, который вычисляется по формуле: фактическая двигательная активность (количество килокалорий, затраченных на выполнение физической нагрузки) / время выполнения физической нагрузки. Рекомендации по физической активности для сохранения и укрепления здоровья всех возрастных групп представлены на сайте Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ)⁸;

S – коэффициент фактической площади (кубатура) помещений 3 м³/ч на 1 м² жилой площади, если на одного человека приходится менее 20 м² общей площади квартиры, и не менее 30 м³/ч на одного человека, если на одного человека приходится более 20 м²;

T – время нахождения на свежем воздухе (ч);

K – коэффициент фактической калорийности пищи (калорийность продукта указана на этикетке) / норматив калорийности пищи (физиологические потребности в энергии для взрослых – от 2100 до 4200 ккал/сут для мужчин и от 1800 до 3050 ккал/сут для женщин)¹⁰.

Исходя из гигиенического индекса самоизоляции, можно сделать заключение, что чем больше человек проявляет двигательную активность на

свежем воздухе или в проветриваемом помещении и питается согласно своим энерготратам, тем больше снижается риск воздействия факторов риска в виде гиподинамии, гипоксии, ожирения на его здоровье [21].

Представляется возможным дать гигиеническую оценку самоизоляции, выраженную в баллах. Оптимальным может считаться гигиенический индекс самоизоляции, равный 3 баллам, благоприятный индекс – более 3, неблагоприятный индекс – менее 3.

Проведенная санитарно-гигиеническая оценка режима самоизоляции позволит обеспечить профилактику алиментарно-зависимых заболеваний, заболеваний сердечно-сосудистой системы, костно-мышечного аппарата, а также снизить риск возникновения других неинфекционных заболеваний [22].

Режим самоизоляции и социального дистанцирования в условиях пандемии (эпидемии) являются одними из факторов снижения риска заражения населения возбудителями инфекционных заболеваний.

В период самоизоляции важную роль играют рекомендации, предназначенные для рационального выживания в случае пандемии или другой чрезвычайной ситуации (катастрофы) [23].

Эпидемии инфекционных заболеваний не только влияют на физическое здоровье людей, но также и на психологическое здоровье и благополучие неинфицированного населения. Исследования показали, что распространенность новых инфекционных заболеваний и их последствий, таких как тяжелый острый респираторный синдром (ТОРС), может повышать уровень тревоги, депрессии и стресса среди населения в целом [24]. Эти негативные эмоции также влияют на сон [25].

Во время эпидемии COVID-19 в центральных областях Китая некоторые люди с легкими заболеваниями, подозреваемыми случаями инфекции и лица, находившиеся в тесном контакте с пациентами или потенциально опасной средой, были изолированы дома. Даже если у изолированных людей не развивалось инфекционное заболевание, и они оставались физически здоровыми, то часто страдали от негативных психологических последствий [26]. Таким образом, сохранение психического и физического здоровья являются важными моментами для людей, которые изолировали себя из-за повышенного риска заражения COVID-19 [27].

⁸ СП 54.13330.2016. Свод правил: здания жилые многоквартирные. Здания жилые многоквартирные [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054198> (дата обращения: 05.06.2020).

⁹ СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901806306> (дата обращения: 05.06.2020).

¹⁰ Принципы составления рациона для лиц, находящихся в режиме самоизоляции или карантина в домашних условиях [Электронный ресурс] // Официальный сайт Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по городу Москве. – URL: <http://77.rospotrebnadzor.ru/index.php/napravlenie/profinfzab/8142-fits-pitaniya-i-biotekhnologii-razrabotal-printsipy-ratsiona-dlya-lits-nakhodyashchikhsya-v-rezhime-samoizolyatsii> (дата обращения: 05.06.2020).

Выводы:

– определены ведущие факторы риска здоровью населения при режиме самоизоляции;

– теоретически обоснованы санитарно-гигиенические критерии оценки самоизоляции на основании санитарно-гигиенических нормативов Российской Федерации;

– теоретически обоснован и предложен гигиенический индекс самоизоляции (ГИС), который прямо пропорционален коэффициентам двигательной активности человека (D), площади помещений (кубатуры воздуха) на одного изолированного (S), времени нахождения на свежем воздухе (T) и обратно пропорционален калорийности принятой пищи;

– предложена балльная оценка индекса самоизоляции, позволяющая дать оптимальную, благоприятную и неблагоприятную оценку риска воздействия режима самоизоляции на здоровье населения;

– проведенная санитарно-гигиеническая оценка режима самоизоляции позволит обеспечить профилактику неинфекционной заболеваемости населения, апробировать в натурных исследованиях теоретически обоснованную оценку риска на здоровье населения режима самоизоляции.

Рекомендации. Питание. В период самоизоляции стоит обращать особое внимание на рацион питания. Пищевые продукты с высоким содержанием

сахара, соли, кондитерские изделия, фастфуд являются факторами риска развития алиментарно-зависимых заболеваний у населения [28]. Необходимо соблюдать питьевой режим в объеме не менее 2 л воды в день, а также исключить из рациона сахаристые и мучные изделия, сладкие газированные напитки, жирные сорта мяса и сыра, фастфуд, чипсы и др.¹¹

Физическая активность. Во время вынужденной самоизоляции важно сохранить адекватную физическую активность, которая благоприятно влияет как на физическое, так и на психическое здоровье [29]. Рекомендуется чередовать физические нагрузки с расслаблением мышц¹².

Режим труда и отдыха. В условиях дистанционной работы взрослого населения и обучения школьников в период самоизоляции стоит создать комфортную среду для работы [30]. Помещение для работы и обучения должно проветриваться, подвергаться ежедневной влажной уборке, не иметь источников постороннего шума¹³. Нужно уделять сну не менее 8 ч в день, придерживаться правильного питания, оставаться физически активным [31].

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Singh J.A COVID-19: Mandatory institutional isolation v. Voluntary home self-isolation // South African Medical Journal. – 2020. – Vol. 110, № 6. – P. 453–455. DOI: 10.7196/SAMJ.2020v110i6.14840
2. Baker E.A., Clark L.L.B. Biopsychopharmacological approach to assess impact of social distancing and isolation on mental health in older adults // British journal of community nursing. – 2020. – Vol. 25, № 5. – P. 231–238. DOI: 10.12968/bjcn.2020.25.5.231
3. Agile requirements engineering and software planning for a digital health platform to engage the effects of isolation caused by social distancing: Case study / E.A. Meinert, M.A. Milne-Ives, S.C. Surodina, C.A.D. Lam // Journal of Medical Internet Research. – 2020. – Vol. 22, № 5. – P. 1–10. DOI: 10.2196/19297
4. Nutritional Status in the Experiment with 105-Day Isolation as the First Phase of the Mars-500 Project / A.N. Agureev, B.V. Afonin, E.A. Sedova, A.A. Solovieva, V.A. Valuev, L.A. Sidorenko // Hum. Physiol. – 2017. – № 43. – P. 793–801.
5. Psychological countermeasures in manned space missions: «EARTH» system for the Mars-500 project / C.B. Rosa, M. Bañosbc, E. Etchemendyb, A. García-Palaciosab, M. Alcañizbd // Computers in Human Behavior. – 2016. – Vol. 55, part B. – P. 898–908. DOI: 10.1016/j.chb.2015.10.010
6. Willingness to self-isolate when facing a pandemic risk: Model, empirical test, and policy recommendations / X. Zhang, F. Wang, C. Zhu, Z. Wang // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2020. – Vol. 17, № 1. – P. 1–15. DOI: 10.3390/ijerph17010197
7. Bacon A.M., Corr P.J. Coronavirus (COVID-19) in the United Kingdom: A personality-based perspective on concerns and intention to self-isolate // British Journal of Health Psychology. – 2020. – P. 1–10. DOI: 10.1111/bjhp.12423
8. Vjekoslav P., Zatezalo V.G., Karlović D. Mental health issues and psychological crisis interventions during the COVID-19 pandemic and earthquakes in Croatia // Review paper. – 2020. – Vol. 56, № 2. – P. 193–198. DOI: 10.20471/dec.2020.56.02.07
9. Методические подходы к расчету вероятности негативных ответов для оценки индивидуальных рисков здоровью человека / Н.В. Зайцева, П.З. Шур, Д.А. Кирьянов, В.М. Чигвинцев, О.В. Долгих, К.П. Лужецкий // Профилактическая и клиническая медицина. – 2015. – Т. 56, № 3. – С. 5–11.

¹¹ Как сохранить физическую активность во время самоизоляции [Электронный ресурс]. – URL: <http://cgon.rosпотреbnadzor.ru/upload/medialibrary/34a/34a623bbfb0a9bd5b0d4fbd23aa5a3d.png>. (дата обращения: 05.06.2020).

¹² Дистанционное обучение школьников [Электронный ресурс]. – URL: <http://cgon.rosпотреbnadzor.ru/upload/medialibrary/8ee/8ee6ead367b43c78a1d3332691200ce.png>. (дата обращения: 05.06.2020).

¹³ Как справиться со стрессом [Электронный ресурс]. – URL: <http://cgon.rosпотреbnadzor.ru/upload/medialibrary/09a/09a20a55807cf40671f0d7151c609aed.png>. (дата обращения: 05.06.2020).

10. Physical activity and modification of lifestyle induce benefits on the health status / G.D.A. Maio, V.A. Monda, A.A. Messina, R.B. Polito, N.C. Tartaglia, A.C. Ambrosio, D.B. Pisanelli, A.E. Asmundo [et al.] // *Acta Medica Mediterranea*. – 2020. – Vol. 36, № 3. – P. 1913–1919. DOI: 10.1155/2017/3831972
11. Богдан И.В., Гурылина М.В., Чистякова Д.П. Здоровый образ жизни: отношение населения и приоритетные направления // *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. – 2019. – Т. 27, № 4. – P. 374–378.
12. Fast track to health – Intermittent energy restriction in adolescents with obesity. A randomised controlled trial study protocol / N. Lister, H. Jebeile, H. Truby, S.P. Garnett, K.A. Varady, C.T. Cowell, C.E. Collins, S.J. Paxton [et al.] // *Obesity Research and Clinical Practice*. – 2020. – Vol. 14, № 1. – P. 80–90. DOI: 10.1016/j.orcp.2019.11.005
13. Better prepare for the next one. Lifestyle lessons from the COVID-19 pandemic / F. Galli, G. Reglero, D. Bartolini, F. Visioli // *PharmaNutrition*. – 2020. – Vol. 12. – P. 100193. DOI: 10.1016/j.phanu.2020.100193
14. Онищенко Г.Г. Актуальные задачи гигиенической науки и практики в сохранении здоровья населения // *Гигиена и санитария*. – 2015. – Т. 94, № 3. – С. 5–9.
15. Особенности аксиологической адаптации студентов вуза: здоровьесозидающий подход / А.Г. Маджуга, Е.А. Шашина, Д.Б. Романов, И.И. Херсонский // *Теория и практика физической культуры*. – 2020. – № 5. – С. 37–38.
16. Effects of a lifestyle intervention in routine care on prenatal physical activity – Findings from the cluster-randomised / J. Hoffmann, J. Günther, K. Geyer, L. Stecher, K. Rauh, J. Kunath, D. Meyer, C. Sitzberger [et al.] // *BMC Pregnancy and Childbirth*. – 2019. – Vol. 19, № 1. – P. 1–13. DOI: 10.1186/s12884-019-2553-7
17. Zaninotto P., Head J., Steptoe A. Behavioural risk factors and healthy life expectancy: evidence from two longitudinal studies of ageing in England and the US // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10, № 1. – P. 1–9.
18. Hart D.A., Zernicke R.F. Optimal human functioning requires exercise across the lifespan: mobility in a 1g environment is intrinsic to the Integrity of multiple biological systems // *Frontiers in Physiology*. – 2020. – Vol. 11. – P. 1–11. DOI: 10.3389/fphys.2020.00156
19. Kramer A., Kramer K.Z. The potential impact of the COVID-19 pandemic on occupational status, work from home, and occupational mobility // *Journal of Vocational Behavior*. – 2020. – Vol. 119. – P. 1–4. DOI: 10.1016/j.jvb.2020.103442
20. Carbone S.R. Flattening the curve of mental ill-health: the importance of primary prevention in managing the mental health impacts of COVID-19 // *Mental Health and Prevention*. – 2020. – Vol. 19. – P. 200185. DOI: 10.1016/j.mhp.2020.200185
21. Информационные и когнитивные технологии здоровьесбережения (обзор) / В.Н. Крутько, В.И. Донцов, Н.С. Потемкина, Т.М. Смирнова, К.А. Федин, А.В. Федина, А.М. Большаков, Т.М. Ходыкина // *Труды Института системного анализа Российской академии наук*. – 2019. – Т. 69, № 1. – С. 50–60.
22. Zhai Y., Du X. Addressing collegiate mental health amid COVID-19 pandemic // *Psychiatry Research*. – 2020. – Vol. 288. – P. 113003. DOI: 10.1016/j.psychres.2020.113003
23. Chatterjee A., Gerdes M.W., Martinez S.G. Identification of risk factors associated with obesity and overweight – a machine learning overview // *Sensors*. – 2020. – Vol. 20, № 9. – P. 1–30. DOI: 10.3390/s20092734
24. Related health factors of psychological distress during the COVID-19 pandemic in Spain / J. Gómez-Salgado, M. Andrés-Villas, S. Domínguez-Salas, D. Díaz-Milán, C. Ruiz-Frutos // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2020. – Vol. 17, № 11. – P. 3947. DOI: 10.3390/ijerph17113947
25. Positive and negative emotions: Differential associations with sleep duration and quality in adolescents / L. Shen, J. Schie, G. Ditchburn, B. Bei // *J. Youth Adolescence*. – 2018. – Vol. 47, № 12. – P. 2584–2595. DOI: 10.1007/s10964-018-0899-1
26. The mental health of those whose rights have been taken away: An essay on the mental health of indigenous peoples in the face of the 2019 Coronavirus (2019-nCoV) outbreak / J.G. Júnior, M.M. Moreira, W.R. Pinheiro, L.M. De Amorim, C.K. Lima, C.G.L. Da Silva, M.L.R. Neto // *Psychiatry Research*. – 2020. – Vol. 289. – P. 113094. DOI: 10.1016/j.psychres.2020.113094
27. Fear of COVID-19 scale: Psychometric characteristics, reliability and validity in the Israeli population / D. Tzur Bitan, A. Grossman-Giron, Y. Bloch, Y. Mayer, N. Shiffman, S. Mendlovic // *Psychiatry Research*. – 2020. – Vol. 289. – P. 113100. DOI: 10.1016/j.psychres.2020.113100
28. Risk factors differentially associated with non-alcoholic fatty liver disease in males and females with metabolic syndrome / V. Bullón-Vela, I. Abete, M. Ángeles Zulet, J.A. Tur, X. Pintó, E. Corbella, M.A. Martínez-González, D. Corella [et al.] // *Revista Espanola de Enfermedades Digestivas*. – 2020. – Vol. 112, № 2. – P. 94–100. DOI: 10.17235/reed.2019.6031/2018
29. Heinicke V., Halle M. Lifestyle intervention in the primary prevention of cardiovascular diseases // *Herz*. – 2020. – Vol. 45, № 1. – P. 30–38. DOI: 10.1007/s00059-019-04886-y
30. Savić D. COVID-19 and work from home: Digital transformation of the workforce // *Grey Journal*. – 2020. – Vol. 16, № 2. – P. 101–104.
31. Rimmer A. How can i keep calm during self-isolation? // *The BMJ*. – 2020. – Vol. 369. – P. m1376. DOI: 10.1136/bmj.m1376

Митрохин О.В., Ермакова Н.А., Белова Е.В. Теоретическое обоснование оценки факторов риска здоровью в условиях самоизоляции // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 143–150. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.15



Research article

THEORETICAL GROUNDS FOR ASSESSING HEALTH RISKS FACTORS CAUSED BY SELF-ISOLATION

O.V. Mitrokhin, N.A. Ermakova, E.V. Belova

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, 2 Bldg., 2 Bol'shaya Pirogovskaya Str., Moscow, 119435, Russian Federation

Billions of people had to face self-isolation for several months due to COVID-19 pandemic; given that, it seems quite vital to provide theoretical grounds for sanitary-hygienic health risk assessment.

Our research objects were people who had to self-isolate during COVID-19 pandemic. In our research we provided theoretical substantiation for priority health risk factors determined by hypodynamia, hypoxia, improper nutrition, distorted work and leisure regime, and psychoemotional strain. These factors can result in growing morbidity with non-communicable diseases among population.

Our research goal was to give theoretical grounds for sanitary-hygienic assessment of health risk factors caused by self-isolation, to reveal priority health risk factors causing morbidity with non-communicable diseases, and to give recommendations on how to prevent it.

We applied analytical, information, and statistical procedures in our research. Data were obtained from regulatory and legal documents on sanitary-hygienic standardization in the Russian Federation, specifically, data on nutrition hygiene, occupational hygiene, children and teenagers hygiene, etc.; we also revised scientific works published by Russian and foreign authors and analyzed documents issued by the World Health Organization as well as by public healthcare authorities in different countries during COVID-19 pandemic.

When developing theoretical grounds for sanitary-hygienic assessment of health risk factors causing morbidity with non-communicable diseases due to self-isolation, we determined priority risk factors and suggested certain hygienic criteria for assessing self-isolation. We provided theoretical substantiation for a suggested hygienic self-isolation index and its score estimate. The existing system for sanitary-hygienic standardization in the RF fixes requirements for nutrition, work, and leisure regime as well as people's physical activity; it was applied for performing hygienic assessment of self-isolation and self-isolation index score estimates.

We suggested certain activities aimed at minimizing health risks under self-isolation; these activities were based on sanitary-hygienic standards. Since hypodynamia and hypoxia are primary sanitary-hygienic health risk factors, we suggest sticking to adequate nutrition with optimal energy capacity, proper physical activity, as well as proper work and leisure regimes.

Key words: COVID-19, self-isolation, health risk assessment, sanitary-hygienic standardization, prevention, hygiene, risk factors, population health.

References

1. Singh J.A COVID-19: Mandatory institutional isolation v. Voluntary home self-isolation. *South African Medical Journal*, 2020, vol. 110, no. 6, pp. 453–455. DOI: 10.7196/SAMJ.2020v110i6.14840
2. Baker E.A., Clark L.L.B. Biopsychopharmacological approach to assess impact of social distancing and isolation on mental health in older adults. *British journal of community nursing*, 2020, vol. 25, no. 5, pp. 231–238. DOI: 10.12968/bjcn.2020.25.5.231
3. Meinert E.A., Milne-Ives M.A., Surodina S.C., Lam C.A.D. Agile requirements engineering and software planning for a digital health platform to engage the effects of isolation caused by social distancing: Case study. *Journal of Medical Internet Research*, 2020, vol. 22, no. 5, pp. 1–10. DOI: 10.2196/19297
4. Agureev A.N., Afonin B.V., Sedova E.A., Solovieva A.A., Valuev V.A., Sidorenko L.A. Nutritional Status in the Experiment with 105-Day Isolation as the First Phase of the Mars-500 Project. *Hum. Physiol.*, 2017, no. 43, pp. 793–801.
5. Rosa C.B., Bañosbc M., Etchemendyb E., García-Palaciosab A., Alcañizbd M. Psychological countermeasures in manned space missions: «EARTH» system for the Mars-500 project. *Computers in Human Behavior*, 2016, vol. 55, part B, pp. 898–908. DOI: 10.1016/j.chb.2015.10.010
6. Zhang X., Wang F., Zhu C., Wang Z. Willingness to self-isolate when facing a pandemic risk: Model, empirical test, and policy recommendations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 1, pp. 1–15. DOI: 10.3390/ijerph17010197

© Mitrokhin O.V., Ermakova N.A., Belova E.V., 2021

Oleg V. Mitrokhin – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Common Hygiene Department (e-mail: mov1163@yandex.ru; tel.: +7 (499) 248-19-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6403-0423>).

Nina A. Ermakova – Senior lecturer at the Common Hygiene Department (e-mail: ninaok11@gmail.com; tel.: +7 (916) 150-07-06; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9745-4265>).

Elena V. Belova – Assistant lecturer at the Common Hygiene Department (e-mail: ms.ekochina@mail.ru; tel.: +7 (985) 085-39-95; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2134-6348>).

7. Bacon A.M., Corr P.J. Coronavirus (COVID-19) in the United Kingdom: A personality-based perspective on concerns and intention to self-isolate. *British Journal of Health Psychology*, 2020, pp. 1–10. DOI: 10.1111/bjhp.12423
8. Vjekoslav P., Zatezalo V.G., Karlović D. Mental health issues and psychological crisis interventions during the COVID-19 pandemic and earthquakes in Croatia. *Review paper*, 2020, vol. 56, no. 2, pp. 193–198. DOI: 10.20471/dec.2020.56.02.07
9. Zaitseva N.V., Shur P.Z., Kiryanov D.A., Chigvintsev V.M., Dolgikh O.V., Luzhetskii K.P. Methodical approaches to calculating the probability of negative responses for personal human health risk assessment. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina*, 2015, vol. 56, no. 3, pp. 5–11 (in Russian).
10. Maio G.D.A., Monda V.A., Messina A.A., Polito R.B., Tartaglia N.C., Ambrosio A.C., Pisanelli D.B., Asmundo A.E. [et al.]. Physical activity and modification of lifestyle induce benefits on the health status. *Acta Medica Mediterranea*, 2020, vol. 36, no. 3, pp. 1913–1919. DOI: 10.1155/2017/3831972
11. Bogdan I.V., Gurylina M.V., Chistyakova D.P. The healthy life-style: attitude of population and priority directions. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdoravookhraneniya i istorii meditsiny*, 2019, vol. 27, no. 4, pp. 374–378 (in Russian).
12. Lister N., Jebeile H., Truby H., Garnett S.P., Varady K.A., Cowell C.T., Collins C.E., Paxton S.J. [et al.]. Fast track to health – Intermittent energy restriction in adolescents with obesity. A randomised controlled trial study protocol. *Obesity Research and Clinical Practice*, 2020, vol. 14, no. 1, pp. 80–90. DOI: 10.1016/j.orcp.2019.11.005
13. Galli F., Reglero G., Bartolini D., Visioli F. Better prepare for the next one. Lifestyle lessons from the COVID-19 pandemic. *Pharma Nutrition*, 2020, vol. 12, pp. 100193. DOI: 10.1016/j.phanu.2020.100193
14. Onishchenko G.G. Actual problems of hygiene science and practice in the preservation of public health. *Gigiena i sanitariya*, 2015, vol. 94, no. 3, pp. 5–9 (in Russian).
15. Madzhuga A.G., Shashina E.A., Romanov D.B., Khersonskii I.I. Peculiarities of axiological adaptation of university students: health-creating approach. *Teoriya i praktika fizicheskoi kul'tury*, 2020, no. 5, pp. 37–38 (in Russian).
16. Hoffmann J., Günther J., Geyer K., Stecher L., Rauh K., Kunath J., Meyer D., Sitzberger C. [et al.]. Effects of a lifestyle intervention in routine care on prenatal physical activity – Findings from the cluster-randomised. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 2019, vol. 19, no. 1, pp. 1–13. DOI: 10.1186/s12884-019-2553-7
17. Zaninotto P., Head J., Steptoe A. Behavioural risk factors and healthy life expectancy: evidence from two longitudinal studies of ageing in England and the US. *Scientific Reports*, 2020, vol. 10, no. 1, pp. 1–9 (in Russian).
18. Hart D.A., Zernicke R.F. Optimal human functioning requires exercise across the lifespan: mobility in a 1 g environment is intrinsic to the Integrity of multiple biological systems. *Frontiers in Physiology*, 2020, vol. 11, pp. 1–11. DOI: 10.3389/fphys.2020.00156
19. Kramer A., Kramer K.Z. The potential impact of the COVID-19 pandemic on occupational status, work from home, and occupational mobility. *Journal of Vocational Behavior*, 2020, vol. 119, pp. 1–4. DOI: 10.1016/j.jvb.2020.103442
20. Carbone S.R. Flattening the curve of mental ill-health: the importance of primary prevention in managing the mental health impacts of COVID-19. *Mental Health and Prevention*, 2020, vol. 19, pp. 200185. DOI: 10.1016/j.mhp.2020.200185
21. Krufko V.N., Dontsov V.I., Potemkina N.S., Smirnova T.M., Fedin K.A., Fedina A.V., Bol'shakov A.M., Khodykina T.M. Information and cognitive technologies of health saving (review). *Trudy Institute sistemnogo analiza Rossiiskoi akademii nauk*, 2019, vol. 69, no. 1, pp. 50–60 (in Russian).
22. Zhai Y., Du X. Addressing collegiate mental health amid COVID-19 pandemic. *Psychiatry Research*, 2020, vol. 288, pp. 113003. DOI: 10.1016/j.psychres.2020.113003
23. Chatterjee A., Gerdes M.W., Martinez S.G. Identification of risk factors associated with obesity and overweight – a machine learning overview. *Sensors*, 2020, vol. 20, no. 9, pp. 1–30. DOI: 10.3390/s20092734
24. Gómez-Salgado J., Andrés-Villas M., Domínguez-Salas S., Díaz-Milanés D., Ruiz-Frutos C. Related health factors of psychological distress during the COVID-19 pandemic in Spain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 11, pp. 3947. DOI: 10.3390/ijerph17113947
25. Shen L., Schie J., Ditchburn G., Bei B. Positive and negative emotions: Differential associations with sleep duration and quality in adolescents. *J. Youth Adolescence*, 2018, vol. 47, no. 12, pp. 2584–2595. DOI: 10.1007/s10964-018-0899-1
26. Júnior J.G., Moreira M.M., Pinheiro W.R., De Amorim L.M., Lima C.K., Da Silva C. G. L., Neto M.L.R. The mental health of those whose rights have been taken away: An essay on the mental health of indigenous peoples in the face of the 2019 Coronavirus (2019-nCoV) outbreak. *Psychiatry Research*, 2020, vol. 289, pp. 113094. DOI: 10.1016/j.psychres.2020.113094
27. Tzur Bitan D., Grossman-Giron A., Bloch Y., Mayer Y., Shiffman N., Mendlovic S. Fear of COVID-19 scale: Psychometric characteristics, reliability and validity in the Israeli population. *Psychiatry Research*, 2020, vol. 289, pp. 113100. DOI: 10.1016/j.psychres.2020.113100
28. Bullón-Vela V., Abete I., Ángeles Zulet M., Tur J.A., Pintó X., Corbella E., Martínez-González M.A., Corella D. [et al.]. Risk factors differentially associated with non-alcoholic fatty liver disease in males and females with metabolic syndrome. *Revista Espanola de Enfermedades Digestivas*, 2020, vol. 112, no. 2, pp. 94–100. DOI: 10.17235/reed.2019.6031/2018
29. Heinicke V., Halle M. Lifestyle intervention in the primary prevention of cardiovascular diseases. *Herz*, 2020, vol. 45, no. 1, pp. 30–38. DOI: 10.1007/s00059-019-04886-y
30. Savić D. COVID-19 and work from home: Digital transformation of the workforce. *Grey Journal*, 2020, vol. 16, no. 2, pp. 101–104 (in Russian).
31. Rimmer A. How can i keep calm during self-isolation? *The BMJ*, 2020, vol. 369, pp. m1376. DOI: 10.1136/bmj.m1376

Mitrokhin O.V., Ermakova N.A., Belova E.V. Theoretical grounds for assessing health risks factors caused by self-isolation. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 143–150. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.15.eng

Получена: 19.09.2020

Принята: 07.02.2021

Опубликована: 30.03.2021

УДК 614.446.1: 578.834.1
DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.16

Читать
онлайн



Научная статья

ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ КАК МЕР СНИЖЕНИЯ РИСКА НАРУШЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ ВО ВРЕМЯ ПАНДЕМИИ COVID-19

Е.А. Шашина¹, Т.С. Исютина-Федоткова¹, В.В. Макарова¹,
О.А. Груздева^{1,2}, О.В. Митрохин¹

¹Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Россия, 119991, г. Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2

²Филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве» в Центральном административном округе города Москвы, Россия, 123317, г. Москва, Красногвардейский бульвар, 17, стр. 1

Использование средств защиты органов дыхания (СЗОД) явилось важнейшей мерой сдерживания распространения коронавирусной инфекции.

В связи с этим осуществлен анализ эффективности разнообразных СЗОД, используемых населением во время пандемии COVID-19. Проведен обзор СЗОД по стандартам разных стран на их изготовление и качество, проанализирован Государственный реестр медицинских изделий Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения, а также рынок доступных населению средств защиты органов дыхания.

СЗОД отличаются большим разнообразием по таким показателям, как эффективность бактериальной фильтрации, количество слоев и состав материала, из которых они изготовлены, степень прилегания лицу, размер (детские/взрослые), условия применения (время ношения, возможность повторного использования и обеззараживания). Предоставляемая при реализации средств защиты населению информация крайне скудна и противоречива (нет понимания, что скрывается за названиями масок, в какой мере они обеспечивают защиту органов дыхания). Число средств защиты органов дыхания, зарегистрированных в российском Государственном реестре медицинских изделий Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения, составляет лишь 24 % от общего числа реализуемых населению изделий. Учитывая многообразие характеристик масок, предложена классификация СЗОД по эффективности защиты от инфекций, распространяемых воздушно-капельным путем. Наиболее эффективными являются респираторы FFP3/KN100/N99/N100. Средней эффективностью обладают респираторы FFP2/KN95/N95/DS/DL2/KF94. Эффективность ниже среднего у респираторов FFP1 и медицинских масок – нетканых типа II R, II, I, тканевых марлевых масок (указаны в порядке убывания эффективности). Низкая и крайне низкая соответственно – у различных немедицинских масок (нетканых, тканевых хлопчатобумажных и синтетических) и лицевых щитков.

При производстве и реализации СЗОД отсутствуют четкие критерии эффективности защиты. Нет единого подхода к понятиям «медицинская» и «немедицинская» маска. Большая часть реализуемых населению средств защиты не зарегистрирована в Государственном реестре медицинских изделий Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения. Предложенная классификация позволяет выработать унифицированный подход к предоставлению информации об изделии потребителям.

Ключевые слова: пандемия, COVID-19, средства защиты органов дыхания, маска медицинская, маска немедицинская, эффективность бактериальной фильтрации, Государственный реестр медицинских изделий, рынок продаж средств защиты.

© Шашина Е.А., Исютина-Федоткова Т.С., Макарова В.В., Груздева О.А., Митрохин О.В., 2021

Шашина Екатерина Андреевна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей гигиены (e-mail: shashina_e_a@staff.sechenov.ru; тел.: 8 (499) 248-51-55; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5294-6813>).

Исютина-Федоткова Татьяна Сергеевна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей гигиены (e-mail: isyutina-fedotkova_t_s@staff.sechenov.ru; тел.: 8 (499) 248-51-55; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8423-9243>).

Макарова Валентина Владимировна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей гигиены (e-mail: makarova_v_v@staff.sechenov.ru; тел.: 8 (499) 248-51-55; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7213-4265>).

Груздева Ольга Александровна – доктор медицинских наук, главный врач (e-mail: fguzmoscao@mail.ru; тел.: 8 (499) 256-71-15; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1244-1925>).

Митрохин Олег Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей гигиены (e-mail: mitrokhin_o_v@staff.sechenov.ru; тел.: 8 (499) 248-53-85; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6403-0423>).

Пандемия коронавирусной инфекции, начавшаяся в декабре 2019 г. в г. Ухань китайской провинции Хубэй, в течение 2020 г. охватила практически все население земного шара и превратилась в глобальную угрозу всему человечеству [1]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по состоянию на 10 февраля 2021 г. во всем мире зарегистрировано 106 555 206 подтвержденных случаев COVID-19, в том числе 2 333 446 случаев смерти, в России – 4 012 710 и 78 134 соответственно [2].

Усилия многочисленной армии ученых увенчались созданием вакцин против COVID-19 и позволили начать массовую иммунизацию населения. Однако по прогнозам ВОЗ коллективный иммунитет к коронавирусу начнет формироваться в мире только к концу 2021 г. [3].

Поскольку основными путями передачи COVID-19 являются воздушно-капельный и контактный, значимыми становятся неспецифические профилактические мероприятия, к которым относятся социальное дистанцирование, отслеживание контактов, карантин, изоляция, гигиена рук [4–7]. Среди этих мероприятий использование средств индивидуальной защиты оказалось одной из наиболее эффективных мер защиты от передачи вируса воздушно-капельным путем [8, 9].

Всемирная организация здравоохранения, основываясь на многочисленных научных исследованиях, рекомендовала использовать маски для лица в качестве первоначальной меры в борьбе с распространением COVID-19. И в 2021 г. ВОЗ рассматривает ношение масок населением как важнейшую меру сдерживания и ликвидации пандемии и указывает на необходимость носить маску внутри и вне помещений при невозможности соблюдения безопасного расстояния в 1 м [10].

Маски позволяют контролировать источники инфекции, предотвращая передачу вируса и уменьшая тем самым риск инфицирования людьми друг друга. Многочисленные научные исследования, в том числе с применением методов математического моделирования, показывают, что даже незначительное уменьшение индивидуальной передачи вируса может привести к значительному сокращению его распространения среди населения [11–14].

Ношение масок относится к числу профилактических мер, которые могут быть быстро и эффективно реализованы с минимальными затратами. При этом важным моментом, влияющим на обеспечение населения масками, является их повсеместная доступность для населения.

В большинстве субъектов Российской Федерации в соответствии с постановлениями главного государственного санитарного врача, а также местных органов власти введен обязательный масочный

режим в местах массового пребывания людей, общественном транспорте, лифтах, на всех объектах, связанных со сферой обслуживания, в учреждениях здравоохранения, образования¹.

Кроме того, риск возникновения биологических угроз будет сохраняться и в будущем (мутации изученных и появление новых микроорганизмов), поэтому проблема обеспечения населения качественными средствами защиты органов дыхания сохраняется.

Цель исследования – анализ эффективности средств защиты органов дыхания, используемых населением во время пандемии COVID-19. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- обзор средств защиты органов дыхания (СЗОД), используемых в качестве мер неспецифической профилактики во время пандемии;
- анализ Государственного реестра медицинских изделий и организаций (индивидуальных предпринимателей) Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения;
- анализ рынка продаж средств защиты органов дыхания, доступных населению России;
- разработка классификации СЗОД.

Материалы и методы. Обзор средств защиты органов дыхания проводился по российским, межгосударственным, европейским, китайским и американским стандартам; санитарным правилам и постановлениям Государственной санитарной службы Российской Федерации; методическим рекомендациям Министерства здравоохранения России, ВОЗ и центров по контролю и профилактики США о профилактике коронавирусной инфекции и использованию средств защиты органов дыхания во время пандемии.

Анализ рыночных предложений различных производителей средств защиты органов дыхания для населения осуществлен на примере сервиса для выбора товаров «Яндекс. Маркет».

Результаты и их обсуждение. *Обзор средств защиты органов дыхания, используемых в качестве мер неспецифической профилактики во время пандемии.* В данную пандемию населением используются самые разнообразные СЗОД.

Фильтрующие лицевые полумаски – это респираторное защитное устройство, характеризующееся очень плотной посадкой на лице и предназначенное для защиты органов дыхания как от твердых, так и от жидких аэрозолей. Респираторы с фильтрующей маской (FFP (Европейский Союз), N (США), KN (Китай), DS/DL (Япония) и KF (Южная Корея)) состоят из нескольких слоев (не менее шести), как правило, нетканых материалов из полипропилена. Среди этих слоев наиболее важным является слой, полученный методом выдувания из расплава – проч-

¹ СП 3.1.3597-20. Профилактика новой коронавирусной инфекции (COVID-19) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_353494/e4deaf074c290821400cfad27f87d23d667c4cf/ (дата обращения: 03.02.2021); О дополнительных мерах по снижению рисков распространения COVID-19 в период сезонного подъема заболеваемости острыми респираторными вирусными инфекциями и гриппом: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 16.10.2020 [Электронный ресурс] // Гарант: информационно-правовое обеспечение. – URL: <http://base.garant.ru/74811008/> (дата обращения: 03.02.2021).

ный нетканый материал, в котором волокна могут складываться в стопку и создавать трехмерную сеть с пористостью 90 %, что приводит к высокой воздухопроницаемости [15]. Таким образом, респираторы позволяют достигать баланса фильтрации и воздухопроницаемости. Респираторы могут быть с клапаном и без клапана выдоха, одноразовые (NR) или с возможностью повторного использования (R).

Респираторы класса FFP1 имеют достаточно низкую степень фильтрации. Респираторы класса FFP2/N95 и FFP3 рекомендуются ВОЗ, Минздравом России и центрами по контролю и профилактике заболеваний в США (CDC) в качестве средств индивидуальной защиты для медицинских работников, занятых в непосредственном оказании помощи пациентам с COVID-19, в условиях процедур, которые сопровождаются образованием вирусных аэрозолей² [16, 17].

В России требования к респираторам определяются государственным стандартом³.

Лицевые щитки представляют собой защитный экран, выполненный из прозрачного пластика, в виде закругленной по краям пластины с креплениями на голову. Они удобны в ношении, просты в очистке, способны снижать уровень автоинокуляции за счет предотвращения прикосновения носителя к лицу, эффективно защищают пользователя от прямого контакта с каплями жидкости, вследствие блокировки начального поступательного движения струи жидкости [18]. Однако выброшенные капли могут относительно легко перемещаться вокруг козырька и распространяться по большой площади в зависимости от условий окружающей среды [19].

ВОЗ рекомендует лицевые щитки в случае отсутствия лицевых масок для обеспечения комфортного общения с видимым выражением лица или для ношения людьми, которым по каким-либо причинам не подходят медицинские маски (например, лицам с нарушениями психического здоровья, нарушениями развития, страдающим глухотой или тугоухостью), а также детям [10].

Критерии отнесения продукции к медицинским изделиям утверждены рекомендацией Евразийской

экономической комиссии⁴. Этим документом определяется, что в случае, если продукция предназначена производителем для применения в медицинских целях, то она может относиться к медицинским изделиям. В противном случае маски и респираторы для защиты органов дыхания не относятся к медицинским изделиям, единые нормативные требования для них не установлены. Такая продукция не является объектом обязательного подтверждения соответствия⁵.

Медицинская маска является средством защиты, которое закрывает нос и рот и обеспечивает барьер для минимизации прямой передачи инфекционных агентов между персоналом и пациентом⁶.

Согласно определению ВОЗ, медицинские маски являются медицинским изделием, относятся к категории «средства индивидуальной защиты» и подлежат сертификации [10]. В США изготовление медицинских масок регулируется в соответствии с требованиями кодифицированного сборника основных постановлений и приказов органов федеральной исполнительной власти.

В России выделяют маски I и II типа, в зависимости от эффективности бактериальной фильтрации. Тип II можно разделить на два подтипа (II и IIR) в зависимости от устойчивости маски к брызгам. Медицинские маски типа I рекомендованы пациентам для снижения риска распространения инфекции, особенно при эпидемиях и пандемиях. Маски типа II преимущественно используются профессионалами в области здравоохранения в операционных или в иных медицинских помещениях с аналогичными требованиями. Маски типа IIR используются профессионалами в лабораториях и на производствах, где требуется полная стерильность, и в операционных для антисептической защиты пациента.

Для изготовления масок используют нетканый материал СМС (спанбонд / мельтблаун / спанбонд) и СС (спанбонд / спанбонд) или хлопчатобумажная марля. Последние используются для снижения риска инфицирования населения вне медицинских организаций. Медицинские маски являются одноразовыми медицинскими изделиями, которые рекомендуется менять не реже чем каждые 2–3 ч⁷.

² Временные методические рекомендации. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 9 (26.10.2020). – Министерство здравоохранения Российской Федерации. – 2020. – 235 с.

³ ГОСТ 12.4.294-2015. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Полумаски фильтрующие для защиты от аэрозолей [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200121996> (дата обращения: 03.02.2021).

⁴ О Критериях отнесения продукции к медицинским изделиям в рамках Евразийского экономического союза: Рекомендация Коллегии ЕЭК от 12.11.2018 № 25 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/551663485> (дата обращения: 03.02.2021).

⁵ Code of Federal Regulations (annual edition). Title 21 – Food and Drugs. Chapter I – food and drug administration, department of health and human services (continued). Subchapter H – Medical devices. Part 878 – General and plastic surgery devices [Электронный ресурс] // U.S. Food and Drug Administration. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/551663485> (дата обращения: 03.02.2021).

⁶ ГОСТ Р 58396-2019. Маски медицинские. Требования и методы испытаний [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200163559/> (дата обращения: 03.02.2021).

⁷ МР 3.1/3.5.0172/1-20. Рекомендации по применению средств индивидуальной защиты (в том числе многократного использования) для различных категорий граждан при рисках инфицирования COVID-19: методические рекомендации. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. – 17 с.

ВОЗ рекомендует носить медицинские маски в лечебных учреждениях, если не выполняются процедуры, сопровождающиеся образованием аэрозоль. При рассмотрении вопроса об использовании масок населением в быту лицам, принимающим решения, рекомендуется воспользоваться подходом на основе оценки рисков. Так, медицинские маски рекомендуются для ношения лицам старше 60 лет и лицам с сопутствующими заболеваниями при невозможности соблюдения безопасной дистанции не менее 1 м. Также лицам, осуществляющим уход либо совместно проживающим с людьми с предполагаемым или подтвержденным диагнозом COVID-19 и при нахождении в одном помещении с такими людьми, независимо от наличия симптомов инфекции [10].

Немедицинские маски являются санитарно-гигиеническими изделиями. Их изготавливают из различных тканых и нетканых материалов.

По требованиям ВОЗ немедицинские маски должны быть изготовлены не менее чем из трех слоев: внутренний слой из гидрофильного материала (например хлопок или смесовая ткань с хлопком); наружный слой из гидрофобного материала (например полипропилен, полиэстер или их смеси), который может защищать нос или рот пользователя от попадания загрязнителей; средний слой из гидрофобного синтетического нетканого материала, такого как полипропилен, либо из хлопка, который может улучшать фильтрующие свойства или удерживать капельные частицы. Маски можно повторно использовать после стирки в воде с моющими средствами при температуре не ниже 60 °C, не реже одного раза в день [16].

Немедицинские маски рекомендованы ВОЗ для ношения населением в качестве барьерного средства для снижения риска распространения инфекций, передающихся воздушно-капельным путем, либо при нахождении в помещениях в случае неудовлетворительного качества вентиляции, независимо от соблюдения безопасной дистанции, либо на улице в случае невозможности соблюдения безопасной дистанции не менее 1 м [10].

Вместе с тем центры по контролю и профилактике заболеваний США рекомендуют населению в возрасте старше двух лет для защиты себя и окружающих в период пандемии носить самодельные и «промышленные» тканевые маски (минимум двухслойные) из хорошо вентилируемых материалов, а также банданы и шарфы-трубы (снуды). В холодное время года надевать шарф, лыжную маску или балаклаву поверх маски. Не рекомендуют использовать маски с клапаном (поскольку загрязненный воздух может выходить в окружающую среду при выдохе), респираторы (поскольку они должны быть зарезервированы для медицинских работников) и лицевые щитки (поскольку их эффективность недостаточно изучена) [17].

Суммируя характеристики масок, изложенные выше, средства защиты органов дыхания можно объединить в следующие группы:

Респираторы:

– нетканые (пропилен), нестерильные, 6–8-слойные, взрослые разных размеров, с клапаном / без клапана.

Медицинские маски:

– нетканые (спанбонд/мельтблаун), одноразовые, с бактерицидным слоем или без: нестерильные 3-слойные (типа I и II), стерильные 4-слойные (типа IIR – с дополнительным брызгоустойчивым слоем);

– тканевые хлопчатобумажные (марля, марля/мадаполам), нестерильные: одноразовые 4-слойные, многоразовые 5–10-слойные.

Немедицинские маски: 1–4-слойные, нестерильные, взрослые разных размеров / детские;

– нетканые (спанбонд / мельтблаун) одноразовые;

– тканевые многоразовые: хлопчатобумажные (вафельная ткань, марля, бязь, миткаль), синтетические (неопрен, полиэстер / спандекс).

Лицевые щитки: многоразовые, взрослые / детские, пластиковые.

По эффективности фильтрации, которую устанавливают стандарты, средства защиты органов дыхания распределены следующим образом (табл. 1).

Анализ рынка продаж средств защиты органов дыхания в России. Как следует из проведенного обзора, маски различаются по составу, слойности, плотности слоев, эффективности и режиму применения.

Изучены рыночные предложения различных производителей масок на примере сервиса для выбора товаров «Яндекс. Маркет». На сервисе по состоянию на декабрь 2020 г. продавалось 838 видов различных СЗОД, из них большинство являлось 3-слойными (табл. 2).

Наши попытки выяснить, сколько из представленных видов являются медицинскими изделиями, потерпели неудачу, так как невозможно понять, что производители масок вкладывают в понятие «медицинская» и «немедицинская» маска. Используются самые разнообразные названия масок: медицинская, защитная медицинская, маска-респиратор, маска-респиратор защитная, немедицинская, защитная немедицинская, гигиеническая, защитная гигиеническая, гигиеническая бытовая, марлевая гигиеническая, защитная, санитарно-гигиеническая и т.д.

При анализе Государственного реестра медицинских изделий и организаций (индивидуальных предпринимателей) Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения, осуществляющих производство и изготовление медицинских изделий, установлен 201 вид масок, имеющих регистрационное удостоверение (на декабрь 2020 г.). При этом все зарегистрированные виды масок подразделяются на медицинские маски и респираторы, однако не всегда указывается количество слоев, из которых изготовлено изделие (табл. 3).

Из данных, представленных в табл. 1 и 2, видно, что менее четверти (24 %) имеющихся на рынке изделий имеет регистрационное удостоверение (РУ)

Росздравнадзора и допущено к обращению на территории Российской Федерации.

В связи с пандемией в 2020 г. (на начальном этапе) была введена упрощенная схема регистрации, что привело к резкому увеличению количества зарегистрированных масок (табл. 4). По состоянию на декабрь 2020 г. 16 РУ отозвано.

Таблица 1

Эффективность фильтрации разных средств защиты органов дыхания

Вид маски	Эффективность фильтрации в % с указанием стандарта
Респиратор FFP1/KN90*	Не менее 80 ⁸ Не менее 94 ⁹ Не менее 90 ¹⁰
Респиратор FFP2/KN95/N95/DS/DL2/ KF94*	95 ¹¹ 94 ¹²
Респиратор FFP3/KN100/N99/N100*	99 ¹³ 97; 99 ¹⁴
Маска медицинская нетканая тип I**	Не менее 95 ¹⁵
Маска медицинская нетканая тип II и IIR**	Не менее 98 ¹⁵
Маска немедицинская**	Не менее 70 ¹⁶

Примечания: * – эффективность фильтрации в отношении частиц аэрозоля размером 0,3 мкм (частицы NaCl); ** – эффективность бактериальной фильтрации.

Таблица 2

Виды масок, представленные на сервисе «Яндекс. Маркет»

Вид маски	Количество слоев						Сумма
	1	2	3	4	5	6	
Одноразовые	1	9	336	6	–	2	354
Многоразовые	12	192	96	6	28	5	339
Не указан	–	39	96	8	–	2	145
Сумма	13	240	528	20	28	9	838

⁸ National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Guide to the Selection and Use of articulate Respirators. Department of Health and Human Services (DHHS) NIOSH publication number 96-101, 1996; Европейский стандарт EN149: 2001+A1.

⁹ ГОСТ 12.4.294-2015. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Полумаски фильтрующие для защиты от аэрозолей. – М., 2015.

¹⁰ Китайский стандарт GB 19083.

¹¹ National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Guide to the Selection and Use of articulate Respirators. Department of Health and Human Services (DHHS) NIOSH publication number 96-101, 1996; ГОСТ 12.4.294-2015. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Полумаски фильтрующие для защиты от аэрозолей; CEN, E., 2001. 149: 2001 norm: Respiratory protective devices-Filtering half masks to protect against particles Requirements, testing, marking. European Committee for Standardization; Китайский стандарт GB 19083.

¹² Европейский стандарт EN149: 2001+A1.

¹³ National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Guide to the Selection and Use of articulate Respirators. Department of Health and Human Services (DHHS) NIOSH publication number 96-101, 1996; ГОСТ 12.4.294-2015. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Полумаски фильтрующие для защиты от аэрозолей; Европейский стандарт EN149: 2001+A1

¹⁴ Китайский стандарт GB 19083; National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Guide to the Selection and Use of articulate Respirators. Department of Health and Human Services (DHHS) NIOSH publication number 96-101, 1996.

¹⁵ ГОСТ Р 58396-2019. Маски медицинские. – М., 2019.

¹⁶ AFNOR. 2020. SPEC S76-001: Masque barrière. Guide d'exigence minimales, de méthode d'essais, de confection et d'usage [Электронный ресурс]. – URL: <https://masques-barrieres.afnor.org/home/telechargement> (дата обращения: 4.06.2020).

Таблица 3

Виды масок, зарегистрированных в Государственном реестре медицинских изделий*

Вид маски	Количество слоев							Сумма
	1	2	3	4	5	6	неизвестно	
Медицинские одноразовые	2	21	107	24	3	2	32	191
Медицинские многоразовые	–	–	–	1	–	1	2	4
Респираторы	–	–	–	–	2	–	4	6
Сумма	2	21	107	25	5	3	38	201

Примечания: * – в анализе не учитывались маски, входящие в комплекты и наборы защитной одежды, укладки и аптечки.

Таблица 4

Количество выданных и отозванных РУ за 2017–2020 гг.

Год	Выдано РУ	РУ более чем на один вид масок	Отменено РУ
2017	5	1	0
2018	7	1	0
2019	3	2	0
2020	159	Большинство	16

Таким образом, анализ рынка показал, что все существующие виды СЗОД представлены в продаже в России, но информация о предоставляемом товаре крайне противоречивая. Далеко не все производители правильно классифицируют свой товар (является ли он медицинским изделием или нет), не все предоставляют информацию о наличии регистрационного удостоверения, многие не пишут даже состав, из которого изготовлено СЗОД. Отражены, как правило, две характеристики маски: количество слоев (слоистость) и возможность повторного применения. Купленные изделия не всегда имеют правильно оформленную маркировку, подтверждающую информацию, заявленную в рекламе товара на сайте.

Таблица 5

Классификация СЗОД по эффективности защиты от инфекций, распространяемых воздушно-капельным путем*

Эффективность защиты		Средства защиты органов дыхания
Высокая	Дополнительная защита от вирусного аэрозоля	Респираторы FFP3/KN100/N99/N100
Средняя		Респираторы FFP2/KN95/N95/DS/DL2/KF94
		Респираторы FFP1
Ниже среднего	Медицинские маски: нетканые маски типа IIR типа II типа I тканевые марлевые маски	
Низкая	Немедицинские маски: нетканые, тканевые (хлопчатобумажные, синтетические) ¹	
Крайне низкая	Лицевые щитки ²	

Примечания:

* СЗОД расположены в порядке уменьшения защитных свойств; ¹ – при соблюдении условий использования (время ношения, правила обеззараживания для многоразовых масок) защитные свойства прямо пропорциональны слоистости маски; ² – при изолированном ношении, без сочетания с другими СЗОД.

Классификация масок. Многообразие характеристик масок определяет необходимость их классификации.

Учитывая эффективность фильтрации, степень прилегания, слоистость, материал изготовления, рекомендации экспертов ВОЗ и Минздрава России, предлагаем классифицировать СЗОД по эффективности защиты следующим образом (табл. 5).

Предложенная классификация позволяет выработать единый подход к предоставлению информации об изделии для потребителя, особенно при покупке малых партий в розничной торговой сети и через Интернет. Производителю необходимо указывать все характеристики, предусмотренные стандартами по маркировке товаров (материал, слоистость, условия использования и т.д.), и эффективность защиты предлагаемого изделия.

Выводы:

1. При производстве и реализации СЗОД крайне актуальным представляется разработка четких критериев эффективности защиты.

2. Требуется разработка унифицированного подхода к понятию «медицинская» и «немедицинская» маска, в том числе при размещении информации для потребителей.

3. Число средств защиты органов дыхания, зарегистрированных в российском Государственном реестре медицинских изделий и организаций (индивидуальных предпринимателей) Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения, составляет лишь 24 % от числа реализуемых населению СЗОД.

4. Разработана и предложена классификация СЗОД по эффективности защиты от инфекций, распространяемых воздушно-капельным путем, которая учитывает эффективность фильтрации, степень прилегания, слоистость, материал изготовления, рекомендации экспертов ВОЗ и Минздрава России.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Список литературы

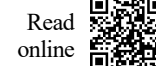
1. ВОЗ. Послание Генерального директора ВОЗ: COVID-19, год спустя [Электронный ресурс] // Всемирная организация здравоохранения. – 2020. – URL: <https://www.who.int/ru/news/item/30-12-2020-covid-19-anniversary-and-looking-forward-to-2021> (дата обращения: 10.02.2021).
2. WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard [Электронный ресурс] // World health organization. – 2020. – URL: <https://covid19.who.int/> (дата обращения: 10.02.2021).
3. ВОЗ. Коллективный иммунитет, меры самоизоляции и COVID-19 [Электронный ресурс] // Всемирная организация здравоохранения. – 2020. – URL: <https://www.who.int/ru/news-room/q-a-detail/herd-immunity-lockdowns-and-covid-19> (дата обращения: 10.02.2021).
4. ВОЗ. Передача SARS-CoV-2: значение для мер предосторожности по профилактике инфекций: научный отчет, 9 июля 2020 г. [Электронный ресурс] // Всемирная организация здравоохранения. – 2020. – URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/333114> (дата обращения: 10.02.2021).
5. Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19 / R. Zhang, Y. Li, A.L. Zhang, Y. Wang, M.J. Molina // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2020. – Vol. 117, № 26. – P. 14857–14863. DOI: 10.1073/pnas.2009637117
6. Physical distancing, face masks and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis / D.K. Chu, E.A. Akl, S. Duda, S. Yaacoub, K. Solo, H.J. Schünemann // Lancet. – 2020. – Vol. 395, № 10242. – P. 1973–1987. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)31142-9
7. Impact of wearing masks, hand hygiene, and social distancing on influenza, enterovirus, and all-cause pneumonia during the coronavirus pandemic: Retrospective national epidemiological surveillance study / N.-C. Chiu, H. Chi, Y.-L. Tai, C.-C. Peng, C.-Y. Tseng, C.-C. Chen, B.F. Tan, C.-Y. Lin // J. Med. Internet Res. – 2020. – № 22. – P. e21257. DOI: 10.2196/21257
8. A rapid review of the use of face mask in preventing the spread of COVID-19 / M. Abboah-Offei, Y. Salifu, B. Adewale, J. Bayuo, R. Ofose-Poku, E.B.A. Opare-Lokko // Int J. Nurs. Stud. Adv. – 2021. – № 3. – P. 100013. DOI: 10.1016/j.ijnsa.2020.100013
9. Evaluation of cloth masks and modified procedure masks as personal protective equipment for the public during the COVID-19 pandemic / P.W. Clapp, E.E. Sickbert-Bennett, J.M. Samet, J. Berntsen, K.L. Zeman, D.J. Anderson, D.J. Weber, W.D. Bennett // JAMA Internal Medicine. – 2020. – № 10. – P. e208168. DOI: 10.1001/jamainternmed.2020.8168
10. Применение масок в условиях COVID-19. Временные рекомендации 1 декабря 2020 г. // Всемирная организация здравоохранения. – Женева, 2020. – 28 с.

11. To mask or not to mask: Modeling the potential for face mask use by the general public to curtail the COVID-19 pandemic / S.E. Eikenberry, M. Mancuso, E. Iboi, T. Phan, K. Eikenberry, Y. Kuang, E. Kostelich, A.B. Gumel // *Infect Dis Model.* – 2020. – № 5. – P. 293–308. DOI: 10.1016/j.idm.2020.04.001
12. Mathematical assessment of the impact of non-pharmaceutical interventions on curtailing the 2019 novel Coronavirus / C.N. Ngonghala, E. Iboi, S. Eikenberry, M. Scotch, C.R. MacIntyre, M.H. Bonds, A.B. Gumel // *Math Biosci.* – 2020. – № 325. – P. 108364. DOI: 10.1016/j.mbs.2020.108364
13. A modelling framework to assess the likely effectiveness of facemasks in combination with «lock-down» in managing the covid-19 pandemic / R. Stutt, R. Retkute, M. Bradley, C.A. Gilligan, J. Colvin // *Proc. R. Soc. A. Math. Phys. Eng. Sci.* – 2020. – Vol. 476, № 2238. – P. 0376. DOI: 10.1098/rspa.2020.0376
14. Worby C.J., Chang H.H. Face mask use in the general population and optimal resource allocation during the COVID-19 pandemic // *Nat. Commun.* – 2020. – Vol. 1, № 1. – P. 4049. DOI: 10.1038/s41467-020-17922-x
15. Can N95 Respirators Be Reused after Disinfection? How Many Times? / L. Liao, W. Xiao, M. Zhao, X. Yu, H. Wang, Q. Wang, S. Chu, Y. Cui // *ACS Nano.* – 2020. – № 14. – P. 6348–6356. DOI: 10.1021/acsnano.0c03597
16. Применение масок в контексте COVID-19. Временные рекомендации 5 июня 2020 г. // Всемирная организация здравоохранения. – Женева, 2020. – 20 с.
17. CDC Use Masks to Slow the Spread of COVID-19 [Электронный ресурс] // Centers for Disease Control and Prevention. – 2020. – URL: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/diy-cloth-face-coverings.html> (дата обращения: 10.02.2021).
18. Kumar S. The perspective of fluid flow behavior of respiratory droplets and aerosols through the facemasks in context of SARS-CoV-2 // *Phys. Fluids.* – 2020. – Vol. 32, № 11. – P. 111301–111315. DOI: 10.1063/5.0029767–15
19. Perencevich E.N., Diekema D.J., Edmond M.B. Moving personal protective equipment into the community: Face shields and containment of COVID-19 // *Jama.* – 2020. – № 323. – P. 2252. DOI: 10.1001/jama.2020.7477

Подходы к анализу эффективности средств защиты органов дыхания как мер снижения риска нарушения здоровья во время пандемии COVID-19 / Е.А. Шашина, Т.С. Исютина-Федоткова, В.В. Макарова, О.А. Груздева, О.В. Митрохин // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 151–158. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.16

UDC 614.446.1:578.834.1

DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.16.eng



Research article

APPROACHES TO ANALYZING EFFICIENCY OF RESPIRATORY PROTECTIVE EQUIPMENT AS A WAY TO REDUCE HEALTH RISKS DURING COVID-19 PANDEMIC

E.A. Shashina¹, T.S. Isiutina-Fedotkova¹, V.V. Makarova¹, O.A. Gruzdeva^{1,2}, O.V. Mitrokhin¹

¹I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Bldg. 2, 8 Trubetskaya Str., Moscow, 119991, Russian Federation

²Center for Hygiene and Epidemiology in Moscow, the Central Administrative District brunch, Bldg. 1, 17 Krasnogvardeiskii blvd., Moscow, 123317, Russian Federation

Use of respiratory protective equipment (RPE) has become the most significant way to prevent the coronavirus infection from its rapid spread.

Our research goal was to analyze efficiency of various RPE used by people during COVID-19 pandemic.

We made a review focusing on RPE manufactured and tested as per standards existing in different counties; we also analyzed the State Medical Equipment Register of the Federal Service for Surveillance in Public Healthcare as well as a market where respiratory protective equipment available to people was distributed.

RPE is quite variable as per such parameters as bacterial filtration efficiency, number of layers and quality of a material it is made of, being fit to a person's face (masks for children/adults), conditions for use (a time of use, whether a mask can be disinfected and used again, etc.). Data provided for customers when respiratory protective equipment is sold are rather scarce and controver

© Shashina E.A., Isiutina-Fedotkova T.S., Makarova V.V., Gruzdeva O.A., Mitrokhin O.V., 2021

Ekaterina A. Shashina – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Common Hygiene Department (e-mail: shashina_e_a@staff.sechenov.ru; tel.: +7 (499) 248-51-55; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5294-6813>).

Tatiana S. Isiutina-Fedotkova – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Common Hygiene Department (e-mail: isyutina-fedotkova_t_s@staff.sechenov.ru; tel.: +7 (499) 248-51-55; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8423-9243>).

Valentina V. Makarova – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Common Hygiene Department (e-mail: makarova_v_v@staff.sechenov.ru; tel.: +7 (499) 248-51-55; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7213-4265>).

Olga A. Gruzdeva – Doctor of Medical Sciences, Chief Physician (e-mail: fguzmoscao@mail.ru; tel.: +7 (499) 256-71-15; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1244-1925>).

Oleg V. Mitrokhin – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Common Hygiene Department (e-mail: mitrokhin_o_v@staff.sechenov.ru; tel.: +7 (499) 248-53-85; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6403-0423>).

sial (people do not understand what a mask name means and how efficiently it protects their respiratory organs). Respiratory protective equipment which is registered within the State Medical Equipment Register of the Federal Service for Surveillance in Public Healthcare accounts for only 24 % of the overall equipment sold to consumers. Taking into account variable and multiple properties of different masks, we developed a RPE classification basing on their efficiency when it comes down to protection from respiratory infections. FFP3/KN100/N99/N100 respirators are the most efficient ones. FFP2/KN95/N95/DS/DL2/KF94 respirators have average efficiency. FFP1 respirators and nonwoven medical masks, II R, II, I type, and woven gauze masks have efficiency that is lower than average (RPE is mentioned in a descending order as per its efficiency). Low and extremely low efficiency was established accordingly for various non-medical masks (nonwoven, woven cotton, and synthetic ones) and face shields.

When RPE is manufactured and sold, there are no precise criteria for assessing its protective efficiency. There is either no unified approach to such concepts as «medical» and «non-medical» masks. Most respiratory protective equipment sold on the consumer market in Russia is not registered within the Russian State Medical Equipment Register of the Federal Service for Surveillance in Public Healthcare. Our classification allows working out a unified approach to providing data on respiratory protective equipment for consumers.

Key words: pandemic, COVID-19, respiratory protective equipment, medical mask, non-medical mask, bacterial filtration efficiency, the State Medical Equipment Register, protective equipment market.

References

1. COVID-19: One year later – WHO Director-General's New Year message. *World health organization*, 2020. Available at: <https://www.who.int/ru/news/item/30-12-2020-covid-19-anniversary-and-looking-forward-to-2021> (10.02.2021).
2. WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. *World health organization*, 2020. Available at: <https://covid19.who.int/> (10.02.2021).
3. Coronavirus disease (COVID-19): Herd immunity, lockdowns and COVID-19. *World health organization*, 2020. Available at: <https://www.who.int/ru/news-room/q-a-detail/herd-immunity-lockdowns-and-covid-19> (10.02.2021).
4. Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions: scientific brief, 09 July 2020. *World health organization*, 2020. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/333114> (10.02.2021).
5. Zhang R., Li Y., Zhang A.L., Wang Y., Molina M.J. Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020, vol. 117, no. 26, pp. 14857–14863. DOI: 10.1073/pnas.2009637117
6. Chu D.K., Akl E.A., Duda S., Yaacoub S., Solo K., Schünemann H.J. Physical distancing, face masks and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Lancet*, 2020, vol. 395, no. 10242, pp. 1973–1987. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)31142-9
7. Chiu N.-C., Chi H., Tai Y.-L., Peng C.-C., Tseng C.-Y., Chen C.-C., Tan B.F., Lin C.-Y. Impact of wearing masks, hand hygiene, and social distancing on influenza, enterovirus, and all-cause pneumonia during the coronavirus pandemic: Retrospective national epidemiological surveillance study. *J. Med. Internet Res.*, 2020, no. 22, pp. e21257. DOI: 10.2196/21257
8. Abboah-Offei M., Salifu Y., Adewale B., Bayuo J., Ofosu-Poku R., Opere-Lokko E.B.A. A rapid review of the use of face mask in preventing the spread of COVID-19. *Int J. Nurs. Stud. Adv.*, 2021, no. 3, pp. 100013. DOI: 10.1016/j.ijnsa.2020.100013
9. Clapp P.W., Sickbert-Bennett E.E., Samet J.M., Berntsen J., Zeman K.L., Anderson D.J., Weber D.J., Bennett W.D. Evaluation of cloth masks and modified procedure masks as personal protective equipment for the public during the COVID-19 pandemic. *JAMA Internal Medicine*, 2020, no. 10, pp. e208168. DOI: 10.1001/jamainternmed.2020.8168
10. Primenenie masok v usloviyakh COVID-19. Vremennyye rekomendatsii 1 dekabrya 2020 g. [Mask use in the context of COVID-19. Interim guidance. December 1, 2020]. *World health organization*, Geneva, 2020, 28 p. (in Russian).
11. Eikenberry S.E., Mancuso M., Iboi E., Phan T., Eikenberry K., Kuang Y., Kostelich E., Gumel A.B. To mask or not to mask: Modeling the potential for face mask use by the general public to curtail the COVID-19 pandemic. *Infect. Dis. Model.*, 2020, no. 5, pp. 293–308. DOI: 10.1016/j.idm.2020.04.001
12. Ngonghala C.N., Iboi E., Eikenberry S., Scotch M., MacIntyre C.R., Bonds M.H., Gumel A.B. Mathematical assessment of the impact of non-pharmaceutical interventions on curtailing the 2019 novel Coronavirus. *Math Biosci.*, 2020, no. 325, pp. 108364. DOI: 10.1016/j.mbs.2020.108364
13. Stutt R., Retkute R., Bradley M., Gilligan C.A., Colvin J. A modelling framework to assess the likely effectiveness of facemasks in combination with «lock-down» in managing the COVID-19 pandemic. *Proc. R. Soc. A. Math. Phys. Eng. Sci.*, 2020, vol. 476, no. 2238, pp. 0376. DOI: 10.1098/rspa.2020.0376
14. Worby C.J., Chang H.H. Face mask use in the general population and optimal resource allocation during the COVID-19 pandemic. *Nat. Commun.*, 2020, vol. 1, no. 1, pp. 4049. DOI: 10.1038/s41467-020-17922-x
15. Liao L., Xiao W., Zhao M., Yu X., Wang H., Wang Q., Chu S., Cui Y. Can N95 Respirators Be Reused after Disinfection? How Many Times? *ACS Nano*, 2020, no. 14, pp. 6348–6356. DOI: 10.1021/acsnano.0c03597
16. Primenenie masok v kontekste COVID-19. Vremennyye rekomendatsii 5 iyunya 2020 g. [Mask use in the context of COVID-19. Interim guidance. June 5, 2020]. *World health organization*, Geneva, 2020, 20 p. (in Russian).
17. CDC Use Masks to Slow the Spread of COVID-19. *Centers for Disease Control and Prevention*, 2020. Available at: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/diy-cloth-face-coverings.html> (10.02.2021).
18. Kumar S. The perspective of fluid flow behavior of respiratory droplets and aerosols through the facemasks in context of SARS-CoV-2. *Phys. Fluids.*, 2020, vol. 32, no. 11, pp. 111301–111315. DOI: 10.1063/5.0029767-15
19. Perencevich E.N., Diekema D.J., Edmond M.B. Moving personal protective equipment into the community: Face shields and containment of COVID-19. *Jama*, 2020, no. 323, pp. 2252. DOI: 10.1001/jama.2020.7477

Shashina E.A., Isiutina-Fedotkova T.S., Makarova V.V., Gruzdeva O.A., Mitrokhin O.V. Approaches to analyzing efficiency of respiratory protective equipment as a way to reduce health risks during COVID-19 pandemic. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 151–158. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.16.eng

Получена: 25.02.2021

Принята: 03.03.2021

Опубликована: 30.03.2021



Обзорная статья

СОСТАВ КИШЕЧНОЙ МИКРОБИОТЫ КАК ФАКТОР РИСКА РАЗВИТИЯ ОЖИРЕНИЯ У ДЕТЕЙ

П.Ю. Петрова, А.Д. Ага, Е.С. Трапезникова, Е.В. Буданова

Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Россия, 119048, г. Москва, ул. Трубецкая, 8/1

Сегодня ожирение, рассматривающееся как результат формирования аномальных или чрезмерных жировых отложений в организме, достигло масштабов эпидемии. К факторам риска развития данного заболевания относят образ жизни, наследственность, а также метаболическую активность кишечной микробиоты. Исследования последних десятилетий показывают, что микробы, колонизирующие кишечник человека, играют важную роль в поддержании нормального метаболизма. Прослеживается корреляция между нарушениями микробного состава кишечника и иммунными расстройствами, повышенной восприимчивостью к инфекциям и ожирением. Появляется все больше доказательств того, что кишечная микробиота и ее бактериальный геном в целом влияют на усвоение питательных веществ, регулируют энергообмен и накопление жира.

Были обнаружены различия в составе кишечной микробиоты у детей и взрослых с ожирением по сравнению с людьми с нормальным индексом массы тела. Способы родоразрешения и вскармливания являются одними из ключевых факторов, которые влияют на формирование кишечной микробиоты ребенка. Например, результаты исследований говорят о том, что естественные роды, в отличие от кесарева сечения, могут предупредить развитие ожирения у ребенка. А грудное вскармливание вносит значительный вклад в развитие младенца, так как грудное молоко – сбалансированная пища, обеспечивающая оптимальный метаболизм в организме новорожденного, формирующая его микробиоту. В то же время, по данным многочисленных статей, искусственное вскармливание может быть ассоциировано с дальнейшим развитием ожирения.

Среди способов борьбы с ожирением выделяют лекарственную терапию, диетическое питание, физическую активность, а также бариатрическую хирургию, которая в настоящее время считается самым эффективным методом. Снижение массы тела путем воздействия на кишечную микробиоту является одним из многих направлений исследований. Несмотря на объективные данные о благоприятном воздействии пробиотиков и пребиотиков на микробный состав кишечника, эксперты до сих пор не пришли к единому мнению об их эффективности.

Ключевые слова: ожирение, кишечная микробиота, ожирение у детей, пробиотики, пребиотики, *Akkermansia muciniphila*, способ вскармливания, способ родоразрешения, пищевые привычки.

Ожирение – это многофакторное нарушение, которое развивается посредством сложного взаимодействия генетических факторов и факторов среды обитания, формирующих дисбаланс между расходом и потреблением энергии [1]. Данное заболевание является одной из острых проблем XXI в. Метаболические нарушения, связанные с ожирением, не

только пагубно влияют на все системы органов человека, но также оказывают интенсивную нагрузку на систему здравоохранения любой страны [2, 3].

По данным на 2016 г. более 1,9 млрд человек в мире в возрасте от 18 лет и старше имеют избыточный вес, из них 600 млн страдают ожирением. Численность младенцев и детей раннего возраста (от 0

© Петрова П.Ю., Ага А.Д., Трапезникова Е.С., Буданова Е.В., 2021

Петрова Полина Юрьевна – студентка (e-mail: petrova.polina.13@mail.ru; тел.: 8 (960) 468-87-86; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3357-9093>).

Ага Александра Дмитриевна – студентка (e-mail: alexandra.aga99@gmail.com; тел.: 8 (916) 279-63-06; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9399-407X>).

Трапезникова Екатерина Сергеевна – студентка (e-mail: trapeznikova_01@icloud.com; тел.: 8 (952) 524-90-98; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1274-4667>).

Буданова Елена Вячеславовна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии (e-mail: e.v.budanova@mail.ru; тел.: 8 (925) 704-39-09; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1864-5635>).

до 5 лет), имеющих избыточный вес или ожирение, во всем мире увеличилась с 32 млн в 1990 г. до 38 млн в 2019 г. Более 60 % детей, которые имеют избыточную массу тела до полового созревания, вступая во взрослую жизнь, продолжают страдать от избыточного веса [4]. Как у взрослых, так и у детей ожирение в значительной степени связано с факторами риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета 2-го типа, иммунной патологии, онкологии, ортопедических проблем и психических расстройств [5, 6].

Взаимодействие многочисленных факторов, приводящих к развитию ожирения, до конца не изучено [6]. Например, известно, что некоторые гены принимают участие в формировании предрасположенности к избыточной массе тела. Все больше достоверных публикаций подтверждают одну из ключевых ролей кишечной микробиоты в развитии ожирения.

Микробиота – это совокупность всех микроорганизмов, необходимых для нормального функционирования организма человека [7]. Более 100 триллионов (10^{14}) клеток микроорганизмов находятся в симбиозе с организмом человека и играют роль в поддержании метаболического здоровья [8]. Бактерии в кишечнике человека выполняют целый ряд функций: пищеварительную, защитную, иммуномодулирующую, детоксикационную, метаболическую и др. Они играют очень важную роль в поддержании углеводного, липидного и белкового обменов. В связи с этим вопрос об участии микробиоты в развитии различных заболеваний приобретает особую значимость. Таким образом, внимание ученых всего мира направлено на изучение причин развития ожирения – «пандемии» XXI в.

Цель исследования – оценка потенциальной роли кишечной микробиоты в патогенезе ожирения у детей.

Материалы и методы. Для выполнения поставленной цели использовались материалы статей из баз данных Scopus и NCBI Medline.

Результаты и их обсуждение. Факторы риска развития ожирения. Существует множество факторов риска избыточного веса и ожирения. Одни из них, такие как возраст и пол, семейный анамнез и наследственность, изменить нельзя. На другие факторы – например, образ жизни – человек может повлиять. Переход к здоровому образу жизни может снизить риск развития избыточного веса и ожирения [9].

Понятие «здоровый образ жизни» включает в себя особенности пищевого поведения и пищевые привычки, физическую активность, эмоционально-психическое здоровье, здоровый сон. Сбалансированное питание с учетом калорийности пищи в зависимости от пола, возраста и уровня физической активности должно определять правильное пищевое поведение человека [10]. Еще одним фактором риска развития ожирения является стресс, который оказывает влияние на мозг и вызывает выработку гор-

монов стресса. Так, кортизол осуществляет контроль чувства голода и энергетического баланса [11].

Многочисленные исследования выявили взаимосвязь между недостатком сна и повышением индекса массы тела (ИМТ). Отмечается, что при недостатке сна увеличивается содержание гормонов, сигнализирующих о голоде, и уменьшается синтез гормонов, ответственных за насыщение, повышается утомляемость и, соответственно, снижается общий уровень физической активности [12]. Кроме того, дополнительное время бодрствования дает больше возможностей для потребления пищи [12, 13].

Генетические исследования показывают, что предрасположенность к избыточной массе тела может быть передана по наследству. Гены, унаследованные от родителей, могут влиять на количество жира, запасаемого в организме, а также на место распределения этого жира. Одним из них является ген FTO (fat mass and obesity associated), кодирующий белок FTO, вовлеченный в энергетический обмен и влияющий на метаболизм в целом [14].

Ожирение может возникнуть в любом возрасте, даже у маленьких детей. С годами гормональные изменения и менее активный образ жизни лишь увеличивают риск его развития. Кроме того, с возрастом снижается уровень метаболизма, поэтому потребность в калориях становится ниже, и борьба с лишним весом затрудняется. Женщины чаще сталкиваются с проблемой избыточного веса [15].

Раса и этническая принадлежность также могут определять массу тела. Так, среди взрослых людей ожирение чаще встречается у представителей негроидной расы, реже – у европеоидной. В то же время ИМТ у азиатских мужчин и женщин чаще всего находится в пределах нормы [16].

Беременность является состоянием, способствующим увеличению веса, что в определенных пределах считается вариантом нормы. Для некоторых женщин снижение массы тела после родов становится серьезной проблемой в связи с замедлением обмена веществ и изменением гормонального фона [17].

Вышеописанные факторы риска развития ожирения относятся к хорошо известным. Однако в последнее время внимание исследователей привлекла кишечная микробиота. Бактерии принимают непосредственное участие в метаболических процессах, увеличивая количество усваиваемой из рациона энергии и регулируя формирование жировой ткани [18]. Считается, что изменения в составе кишечной микробиоты могут также являться фактором риска [19]. В связи с этим возникает вопрос: каким образом кишечная микробиота влияет на развитие ожирения?

Что нового в изучении состава микробиоты у людей с ожирением? С момента открытия роли кишечной микробиоты в регуляции метаболизма организма хозяина внимание ученых было обращено на два основных типа (филюма) бактерий – *Firmicutes* и *Bacteroidetes*. Нарушение в их количественном соотношении может лежать в основе пато-

генеза ожирения. Было обнаружено, что у людей с ожирением отмечается низкое количество бактерий типа *Bacteroidetes* и высокое количество *Firmicutes* [20]. В дальнейшем ученые выяснили, что изменения в составе микробиоты на более низких таксономических уровнях также могут быть связаны с данным метаболическим нарушением. Поэтому изменения численности родов или даже конкретных видов бактерий могут быть более достоверными маркерами дисбиоза, возможно приводящими к ожирению, чем нарушение в соотношении *Firmicutes* / *Bacteroidetes* [20].

Исследователями обсуждаются различные механизмы, которые могли бы объяснить взаимосвязь между составом кишечной микробиоты и развитием ожирения [21]. Одним из таких механизмов является способность кишечных микробов извлекать энергию из неперевариваемых полисахаридов, что является дополнительным источником калорий для организма хозяина. Кроме того, показана способность бактерий кишечной микробиоты регулировать уровни липополисахаридов (ЛПС) в крови, которые провоцируют начало умеренного системного хронического воспаления, предрасполагающего к развитию ожирения и диабета. Третий механизм основан на том факте, что микробиота кишечника человека способна регулировать экспрессию генов организма хозяина, связанных с запасанием и расходом энергии [21].

Тип *Proteobacteria* связывают с возникновением дисбиоза, который также может приводить к такому метаболическому расстройству, как ожирение [22]. Это связано с тем, что при увеличении численности протеобактерий происходит снижение продукции слизи, приводящее к повреждению защитного кишечного барьера и неспецифическому воспалению [22, 23].

Показательны с этой точки зрения бактерии *Faecalibacterium prausnitzii*, которые относятся к типу *Firmicutes* класса *Clostridia* семейства *Ruminococcaceae* и являются одним из ведущих продуцентов бутирата в кишечнике [24, 25]. Бутират – короткоцепочечная жирная кислота (КЖК). Она является основным источником энергии для колоноцитов и оказывает протективный эффект в отношении развития колоректального рака и воспалительных заболеваний кишечника. Данная КЖК способна уменьшать воспалительную реакцию слизистой оболочки кишечника за счет ингибирования активации фактора транскрипции NF-κB (универсальный фактор транскрипции, контролирующий экспрессию генов иммунного ответа, апоптоза и клеточного цикла), а также за счет активации PPARγ и ингибирования IFN-γ. Бактерии *F. prausnitzii* обладают дополнительными противовоспалительными свойствами благодаря способности поддерживать цитокиновый профиль с очень низкой секрецией провоспалительных цитокинов IL-12, IFN-γ и высокой секрецией противовоспалительного цитокина IL-10 [25]. Таким образом, можно сделать вывод, что *F. prausnitzii*

способна оказывать противовоспалительное действие на желудочно-кишечный тракт благодаря продукции значительных количеств бутирата и способности поддерживать определенный цитокиновый профиль, поэтому уменьшение численности данных бактерий в кишечной микробиоте детей может быть опосредованно связано с биологическим процессом ожирения. Более того, данная бактерия была предложена в качестве биомаркера в диагностике заболеваний кишечника [25, 26].

Лактобациллы (тип *Firmicutes*) – это грамположительные, ацидогенные и ацидурические бактерии, на уровень которых сильно влияют пищевые привычки хозяина [21]. Предполагается, что влияние лактобацилл на увеличение массы тела зависит от их видовой принадлежности. Например, высокие уровни *L. reuteri* коррелируют с высоким ИМТ [27]. А такие виды, как *L. paracasei* и *L. plantarum*, могут оказывать протективный эффект против набора веса благодаря продукции бактериоцинов, которые предупреждают рост патогенов, вызывающих дисбиоз [6, 22, 28].

Представители рода *Fusobacterium* являются условно-патогенными бактериями, уровень которых может быть повышен у лиц с ожирением [22].

Бактерия *Akkermansia muciniphila* – единственный культивируемый кишечный представитель типа *Verrucomicrobia* [29]. Аккермансии являются муцин-деградирующими бактериями, которые влияют на метаболизм организма хозяина. Они участвуют в поддержании целостности кишечного барьера и поддерживают состав кишечной микробиоты в состоянии эубиоза, который способствует сохранению нормальной массы тела [6, 22, 30]. Примечательно, что пониженные уровни *A. muciniphila* наблюдались у пациентов с воспалительными заболеваниями кишечника (в основном при язвенном колите) и нарушениями обмена веществ, что позволяет предположить, что эти бактерии могут обладать противовоспалительными свойствами [30].

Наряду с фекалибактериями к кластеру *Clostridium* IV относится *Clostridium leptum* которая ферментирует непоглощенный сахар и клетчатку, производя КЖК [21]. КЖК (бутират, пропионат и ацетат) могут выступать в качестве источника энергии как для других бактерий, так и для организма хозяина (примерно 10 % всей энергии), а также принимать участие в поддержании функционирования кишечного эпителия [20].

Другой представитель этого кластера – *Eubacterium hallii* – способна утилизировать глюкозу и такие промежуточные продукты ферментации, как ацетат и лактат, образуя бутират и водород. Накопление лактата связывают с возникновением ряда кишечных заболеваний и синдрома мальабсорбции [31].

Methanobrevibacter smithii – одноклеточный микроорганизм, принадлежащий к домену Археи, способствует превращению углекислого газа и водорода в метан, а также продуцирует КЖК [32].

Считают, что основная роль *M. smithii* в организме заключается в поддержании сбалансированного уровня водорода в кишечнике. Предполагается, что изменение концентрации *M. smithii* в кишечнике может повышать риск развития ожирения и воспалительных заболеваний желудочно-кишечного тракта, таких как синдром раздраженного кишечника, колоректальный рак, дивертикулез [32].

Микробиота у детей с ожирением. В научной литературе подчеркивается, что детское ожирение является многофакторным заболеванием, которое может быть связано с неоптимальным составом макроэлементов в рационе наряду с недостаточной физической активностью. Этому состоянию могут также способствовать генетические, эндокринные и психосоциальные факторы. Кроме того, недавние клинические исследования указывают на значительные различия в составе кишечной микробиоты у детей с ожирением и нормальной массой тела.

В последние годы многочисленные публикации опровергают теорию стерильности внутриутробной среды, так как следы микробов обнаруживаются в плаценте и амниотической жидкости [5, 33, 34]. Исследование мекония новорожденных показало наличие в нем бактерий, в большей степени энтерококков и стафилококков [33, 34]. Возникло множество теорий о передаче материнской микробиоты ребенку еще на стадии беременности, и в первые месяцы после рождения она характеризуется низким разнообразием [5]. Обнаружено, что значительные изменения в микробиоте кишечника происходят у детей в возрасте от 9 до 18 месяцев, особенно после прекращения грудного вскармливания и введения прикорма [21]. Примерно к трем годам жизни кишечная микробиота ребенка относительно сопоставима с таковой у взрослых [5]. Таким образом, детство может предоставлять уникальные возможности для вмешательства в кишечную микробиоту для укрепления здоровья и предотвращения развития заболеваний, в том числе ожирения [35].

Тысячи бактерий, принадлежащих к типу *Firmicutes*, могут быть вовлечены в процесс увеличения массы тела. Например, показано, что увеличение численности видов *C. leptum* и *E. hallii* в совокупности со снижением уровня *F. prausnitzii* и *C. difficile* было связано с ожирением и избыточным весом у младенцев и детей дошкольного, а также школьного возраста [36–39].

Тип *Bacteroidetes* состоит в основном из грамотрицательных бактерий, в отличие от преимущественно грамположительных микроорганизмов типа *Firmicutes*. Три исследования с высокой и умеренной степенью доказательности выявили положительную корреляцию между уровнем *B. fragilis* и ожирением у детей. В исследовании, проведенном Vael et al. [40], изучалась взаимосвязь между составом кишечной микробиоты и ИМТ в первые три года жизни. Было показано, что высокие концентрации *B. fragilis* в возрасте трех недель были тесно

связаны с высоким ИМТ в течение первых трех лет жизни. Эти данные также были подтверждены в исследованиях Scheepers et al. и Ignacio et al. [40, 41].

Кроме того, некоторые исследования указывают на более низкую численность бактерий родов *Bacteroides* / *Prevotella* (грамотрицательных бактерий, принадлежащих к типу *Bacteroidetes*) у лиц с ожирением [21]. Бактерии этих двух родов являются представителями нормальной микробиоты кишечника, однако их избыточное размножение также связывают с кишечным воспалением, опосредованным провоспалительными цитокинами, выделяемыми Th-17. Необходимы дальнейшие исследования отдельных видов бактерий для объяснения данного противоречия. Вместе с тем исследования всего типа *Bacteroidetes* показали значительное снижение их уровня и, следовательно, соотношения *Bacteroidetes* / *Firmicutes* у детей с ожирением по сравнению с таковыми у детей с нормальной массой тела, что, вероятно, можно рассматривать как специфический маркер. Важно отметить, что такие виды / семейства, как *M. smithii*, *A. muciniphila*, *Bifidobacteriaceae*, принадлежащие к другим типам, были связаны с низким ИМТ.

Следует отметить, что основными представителями микробиоты кишечника взрослого человека являются типы (филумы) *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Proteobacteria*, *Actinobacteria* и *Verrucomicrobia* [22]. При этом *Firmicutes* и *Bacteroidetes* составляют около 90 % всех бактерий кишечной микробиоты здорового человека. Для сравнения с описанными выше показателями микробиоты детей приводим таблицу о микробном профиле кишечника взрослых с ожирением, по данным [22].

Уровни различных бактерий у людей, страдающих ожирением [22]

Бактерии	Уровни у взрослых людей с ожирением
<i>Firmicutes</i>	Повышен
<i>Bacteroidetes</i>	Понижен
Соотношение <i>Firmicutes</i> / <i>Bacteroidetes</i>	Повышено
<i>Akkermansia muciniphila</i>	Понижен
<i>Proteobacteria</i>	Повышен
<i>Faecalibacterium prausnitzii</i>	Понижен
<i>Fusobacterium</i>	Повышен
<i>Methanobrevibacter smithii</i>	Понижен
<i>Lactobacillus reuteri</i>	Повышен

Влияние способа родоразрешения на развитие ожирения у детей. Способ родоразрешения является одним из факторов, от которого зависит состав микробиоты кишечника новорожденных. Кишечная микробиота младенцев, рожденных с помощью кесарева сечения (КС), значительно отличается от микробиоты детей, рожденных естественным путем [5, 42]. Во время естественных родов микроорганизмы, присутствующие в родовых путях и кишечнике или промежности женщины, колони-

зируют кишечник новорожденного. В становлении кишечной микробиоты младенцев, например, принимают участие такие «влагалищные» бактерии, как *Lactobacillus spp.* и *Prevotella spp.* Напротив, дети, родившиеся с помощью КС, колонизируются микробами из окружающей среды (кожи матери, от медицинского персонала, больничного оборудования и других детей) [42].

Различные исследования демонстрируют, что дети, рожденные с помощью КС, имеют менее разнообразный состав кишечной микробиоты, реже колонизируются такими микроорганизмами, как *Bifidobacterium spp.* и *Bacteroides spp.*, и у них чаще обнаруживаются *C. difficile* [42]. В то же время хорошо известно, что бифидобактерии и бактероиды преобладают в ранней кишечной микробиоте детей, рожденных естественным путем [43]. Данные бактерии способствуют формированию иммунитета новорожденных. А бифидобактерии с помощью различных механизмов, одним из которых является способность деградировать олигосахариды молока человека (ОМЧ) до КЖК, защищают от развития ожирения. Поэтому можно предполагать, что рождение с помощью КС связано с рисками возникновения этого заболевания в будущем.

Показано, что естественные роды оказывают протективный эффект в отношении развития различных заболеваний, в свою очередь КС может иметь долгосрочные последствия для здоровья (ожирение, бронхиальная астма, аллергия и сахарный диабет 1-го типа) [42]. Три метаанализа показали, что дети, рожденные путем КС, имеют на 33 % больший риск развития детского ожирения [44–46].

Некоторые исследования связывают низкие уровни бифидобактерий и высокие уровни клостридий у детей, рожденных с помощью КС, с приемом антибиотиков, поскольку матерям показано их применение до и после родов для проведения селективной деконтаминации [47]. Кроме того, роды путем КС могут быть причиной отсутствия лактации в первые часы после родоразрешения, а также сокращения продолжительности грудного вскармливания, что может провоцировать метаболические нарушения [47, 48].

Для заселения микрофлорой матерей детей, появившихся на свет путем КС, применяется интересная методика «вагинального посева», заключающаяся в использовании марлевого тампона для переноса материнской вагинальной жидкости на рот, лицо и тело новорожденному сразу после КС. Полагают, что это может способствовать колонизации новорожденного «полезными» бактериями от матери и предупредить развитие ожирения у ребенка в будущем. В ходе исследований было показано, что состав орального, кожного и кишечного бактериального сообществ у детей, которые подверглись данной процедуре, был сопоставим с микробиомом детей, рожденных естественным путем [49].

Влияние способа вскармливания младенцев на риск развития ожирения. В продольном когортном исследовании Wallby et al. [50] изучалась роль грудного вскармливания в профилактике избыточного веса и ожирения. Наблюдались 18 детей с момента рождения и до достижения ими возраста 4 лет, у которых в динамике оценивали ИМТ и процент подкожного жира. Младенцы были разделены на две группы: вскармливаемые грудью менее трех месяцев с момента рождения и вскармливаемые грудью в течение трех месяцев и более; ИМТ и процент подкожного жира при рождении были одинаковыми в обеих группах. К трем месяцам жизни у первой группы были более высокие значения обоих критериев по сравнению со второй группой, а с шестимесячного возраста – их данные превысили эталонные значения ИМТ и процента подкожного жира. К 3–4 годам распространенность ожирения у первой группы утроилась при незначительных изменениях во второй группе (разница между показателями была определена как статистически значимая) [50]. Дополнительный анализ показал влияние «материнских» факторов на риск развития ожирения у их детей, а именно ИМТ матери >27, курение и употребление алкоголя во время беременности. Таким образом, можно сделать вывод, что ранний переход к искусственному вскармливанию в сочетании с избыточным весом матери, наличием у нее вредных привычек и низким социальным статусом являются факторами риска избыточного веса и ожирения у ее детей в возрасте до 4 лет.

С патофизиологической точки зрения, грудное вскармливание определяет динамику роста и веса ребенка [51, 52]. В ходе исследований выяснилось, что дети, вскармливаемые грудью, имеют более высокие кривые роста и веса по сравнению со сверстниками, находящимися на искусственном вскармливании. Предполагается, что грудное вскармливание может являться защитным фактором в отношении развития ожирения и в более позднем возрасте [53]. Обоснованием разницы в динамике роста и веса является повышенный уровень инсулиноподобного фактора роста (IGF-1) в плазме крови детей на искусственном вскармливании [54]. Это может быть потенциальным следствием эндокринной модуляции, вызванной различиями в составе биологически активных питательных веществ в молоке человека по сравнению с искусственными смесями. В частности, грудное молоко имеет более низкую энергетическую ценность, содержит меньше белка, но больше жира по сравнению с большинством смесей на основе заменителей молока [15]. Кроме того, установлено, что молоко матери содержит бифидобактерии, которые могут модулировать микробиоту грудного младенца, оказывая профилактический эффект в отношении развития ожирения.

При введении в рацион прикорма общее потребление энергии возрастает на 15–23 % у детей в возрасте от 3 до 18 месяцев, находящихся на искус-

ственном вскармливании [55]. К тому же дети, вскармливаемые смесью, потребляют на 20–30 % больше объема пищи за один прием. Они также имеют тенденцию потреблять больше еды в старшем возрасте [56]. И наоборот, грудное молоко лучше удовлетворяет потребность в энергии, при этом потребление грудного молока снижается после добавления твердой пищи в качестве прикорма [55]. Таким образом, различия в способе вскармливания могут влиять на массу тела ребенка: каждые дополнительные 100 ккал в день, потребляемые в течение 4 месяцев, в 46 % случаев были связаны с более высокой вероятностью избыточного веса у детей в трехлетнем возрасте [57].

Следует отметить, что рецептуры искусственных смесей, как правило, имеют повышенное содержание белка, в среднем на 50–80 % больше, чем в грудном молоке [57]. Предполагается, что это расхождение является основной причиной различий в росте между «грудными» детьми и «искусственниками» [58]. Согласно «ранней гипотезе белка», поступление большого количества белка с пищей существенно влияет на характер роста ребенка, тем самым увеличивая и вероятность развития ожирения [59]. Было произведено многоцентровое исследование детского ожирения, в котором группа здоровых детей на искусственном вскармливании получала в течение первого года жизни только коровье молоко и в дальнейшем – смесь с низким или высоким содержанием белка соответственно. Процент детей с более высокой массой тела был выше в группе, получавшей больше белка с пищей [60].

В отличие от белка, содержание жира в грудном молоке выше, чем в смесях [61]. К тому же грудное молоко содержит более высокую концентрацию длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот [62]. Однако ни одно исследование еще не выявило связи между потреблением жира в младенчестве и раннем детстве с увеличением массы тела по мере взросления.

Помимо этих критических различий в питательных субстратах грудного молока и смесей, состав грудного молока динамически меняется в течение периода лактации. Таким образом, существует тесная взаимосвязь питания «от матери к потомству». Благодаря подобным взаимоотношениям можно регулировать энергетические потребности ребенка, например частоту и продолжительность кормления, что влияет на динамику веса [50]. Полагают, что выбор в пользу материнского молока влечет за собой более эффективную саморегуляцию количества потребляемого питания новорожденным [62].

Кроме того, в материнском молоке содержатся гормоны, которые сдерживают энергетический обмен и потребление пищи младенцем. К примеру, такие гормоны, как лептин, инсулин, адипонектин и обестатин, могут активировать пути, регулирующие чувство голода, в зависимости от энергетических потребностей, посредством эпигенетических про-

цессов [63]. Кроме того, положительное влияние грудного вскармливания на предупреждение ожирения может быть частично обусловлено программированием более здорового состава кишечного микробиома, индуцируемого некоторыми компонентами грудного молока, например, олигосахаридами, входящими в его состав [64].

Олигосахаридами молока человека (ОМЧ) – это третий по распространенности компонент грудного молока после лактозы и липидов, который играет ключевую роль в создании и поддержании здоровой микробиоты кишечника младенца, способствуя росту бактерий родов *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* и *Akkermansia* [29, 65]. При этом профиль ОМЧ у каждой женщины уникален, что обеспечивает индивидуальность младенческого кишечного микробиома [65]. Исследователи указывают, что *A. muciniphila* и *B. longum* *bv. infantis* способны расщеплять ОМЧ на простые сахара, высвобождая при этом КЖК, которые способствуют поддержанию правильно функционирующего кишечного барьера и обеспечивают организм хозяина энергией, что имеет решающее значение для поддержания здорового метаболического статуса.

Однако КЖК действуют не только в качестве энергетических субстратов для хозяина, но и играют роль сигнальных молекул, влияющих на потребление энергии и обмен веществ. КЖК являются лигандами по меньшей мере двух рецепторов – рецептора свободной жирной кислоты 2 (FFAR2 – free fatty acid receptor 2) и рецептора свободной жирной кислоты 3 (FFAR3) [6]. Эти рецепторы экспрессируются клетками кишечного эпителия и клетками APUD-системы. Повышение содержания КЖК в кишечнике связывают с пропорциональным увеличением панкреатического полипептида, глюкагонподобного пептида-1 и лептина, которые подавляют аппетит, следовательно, FFAR2 и FFAR3 являются модуляторами энергетического баланса хозяина через эффекты, связанные с кишечной микробиотой [6]. На основании данных примеров можно сделать вывод, что КЖК способны настраивать метаболизм организма хозяина путем регулирования энергообмена, аппетита и накопления жира.

Таким образом, грудное молоко матери – оптимально сбалансированная пища для младенца, обеспечивающая его нормальное развитие. Доказано, что продолжительность естественного вскармливания более шести месяцев благотворно сказывается на формировании микробного состава кишечника ребенка [66, 67]. Исходя из вышеперечисленных фактов, способ вскармливания младенца вносит значительный вклад в его рост и развитие. Период от зачатия до четырехлетнего возраста считается наиболее важным для индукции тех патофизиологических нарушений, которые в итоге приводят к детскому, а в последующем и к взрослому ожирению.

Способы лечения ожирения в детском возрасте. В настоящий момент для лечения ожирения

принято использовать сочетание физической активности, диетического питания и лекарственной терапии, а также бариатрической хирургии. В развитых странах популярны пищевые привычки, которые характеризуются чрезмерным потреблением насыщенных жиров, животного белка, рафинированных углеводов и низким содержанием клетчатки [68]. Некоторые ученые утверждают, что такие особенности питания приводят к общему снижению количества бактерий кишечной микробиоты и серьезным отклонениям в соотношении преобладающих типов бактерий *Bacteroidetes* и *Firmicutes* [69, 70]. De Filippi et al. сравнили образцы микробиоты у детей, проживающих в сельской местности в Бурунди-Фасо, и у детей из городской местности в Италии [71]. Рацион африканских детей состоял в основном из клетчатки и растительных полисахаридов, а у итальянских детей преобладали животные белки, углеводы и жиры. В результате установлено достоверное различие между четырьмя родами бактерий кишечника: у детей из Бурунди-Фасо преобладали *Actinobacteria* и *Bacteroidetes*, у детей из Италии – *Firmicutes* и *Proteobacteria*. Имеются данные о том, что сбалансированное питание с высоким потреблением клетчатки ассоциируется с высоким бактериальным разнообразием [71, 72]. Благоприятное влияние на микробиоту кишечника также оказывает приверженность средиземноморской диете [73]. У людей, придерживающихся такого рациона, обнаружено снижение числа *Firmicutes* и увеличение общего содержания КЖК [74].

Хирургическое лечение является наиболее радикальным способом борьбы с ожирением [75]. Как самостоятельное направление бариатрия начала зарождаться в 50-х гг. прошлого века и с тех пор продолжает совершенствоваться [76]. Основной целью данных операций является эффективное снижение веса, минимальная вероятность развития послеоперационных осложнений и улучшение качества жизни пациентов. Среди всех возможных видов вмешательств лидирующие позиции в мире занимают рукавная гастропластика (sleeve gastrectomy) и гастропунтирование (gastric bypass) [75]. Помимо непосредственного благоприятного влияния на снижение веса, бариатрические операции обладают положительным влиянием на метаболизм и коморбидность. Выявлена взаимосвязь между проведением гастро-

шунтирования и снижением уровня глюкозы, а также гликозилированного гемоглобина у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа. Имеются также данные об изменениях кишечной микробиоты в сторону преобладания *Bacteroidetes* и *A. muciniphila* у таких пациентов [77]. Однако вопрос о необходимости радикального хирургического подхода для лечения ожирения в детском возрасте остается весьма спорным.

Стремительное распространение глобальной эпидемии ожирения требует создания новых методов лечения. Снижение веса, ассоциированное с различным воздействием на кишечную микробиоту, является одним из многих направлений исследований. Так, Hibberd et al. [78] установили, что прием пробиотика на основе *Bifidobacterium lactis* ассоциирован с контролем массы тела у людей с ожирением. Детальное изучение образцов микробиоты в итоге исследования показало увеличение уровня лактобацилл и аккермансий, свидетельствующих о восстановлении баланса микробиоты, характерного для людей с нормальной массой тела. При приеме *Bifidobacterium lactis* в комбинации с пребиотиком полидекстрозой наблюдалось увеличение численности бактерий родов *Akkermansia*, *Christensenellaceae* (*Firmicutes*) и архея рода *Methanobrevibacter*, при этом снижалось количество *Paraprevotella* (*Bacteroidetes*) [78]. В исследовании Payahoo et al. [79] изучалось потенциальное использование олеоилэтананоламида (ОЭА, природный амид жирных кислот) в качестве препарата для снижения веса. Было установлено, что прием олеоилэтананоламида у пациентов, страдающих ожирением, вызывал возрастание уровня *A. muciniphila* в составе кишечной микробиоты.

Однако, несмотря на многочисленные данные о благоприятном действии пробиотиков и пребиотиков на кишечную микробиоту, эксперты до сих пор не пришли к единому мнению об их эффективности. Назначение данной терапии может быть сопряжено с недостаточно изученными рисками, отсутствием персонализированного подхода и противоречивыми результатами исследований.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Garabedian L.F., Ross-Degnan D., Wharam J.F. Mobile Phone and Smartphone Technologies for Diabetes Care and Self-Management // Current Diabetes Reports. – 2015. – Vol. 15, № 12. – P. 109. DOI: 10.1007/s11892-015-0680-8
2. Davis C.D. The gut microbiome and its role in obesity // Nutr. Today. – 2016. – Vol. 51, № 4. – P. 167–174. DOI: 10.1097/NT.0000000000000167
3. Davis H.C. Can the gastrointestinal microbiota be modulated by dietary fibre to treat obesity? // Irish Journal of Medical Science. – 2018. – Vol. 187, № 2. – P. 393–402. DOI: 10.1007/s11845-017-1686-9
4. Obesity and overweight [Электронный ресурс] // World health organization. – URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (дата обращения: 23.09.2020).
5. The role of the gut microbiota in childhood obesity / A.F. Pihl, C.E. Fonvig, T. Stjernholm, T. Hansen, O. Pedersen, J.-C. Holm // Childhood Obesity. – 2016. – Vol. 12, № 4. – P. 292–299. DOI: 10.1089/chi.2015.0220

6. Gérard P. Gut microbiota and obesity // *Cellular and Molecular Life Sciences*. – 2016. – Vol. 73, № 1. – P. 147–162. DOI: 10.1007/s00018-015-2061-5
7. The gut microbiota: A treasure for human health / D. Li, P. Wang, P. Wang, X. Hu, F. Chen // *Biotechnology Advances*. – 2016. – Vol. 34, № 7. – P. 1210–1224. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2016.08.003
8. The Human Microbiota in Health and Disease / B. Wang, M. Yao, L. Lv, Z. Ling, L. Li // *Engineering*. – 2017. – Vol. 3, № 1. – P. 71–82. DOI: 10.1016/J.ENG.2017.01.008
9. Pediatric obesity-assessment, treatment, and prevention: An endocrine society clinical practice guideline / D.M. Styne, S.A. Arslanian, E.L. Connor, I.S. Farooqi, M.H. Murad, J.H. Silverstein, J.A. Yanovski // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* – 2017. – Vol. 102, № 3. – P. 709–757. DOI: 10.1210/jc.2016-2573
10. McCuen-Wurst C., Ruggieri M., Allison K.C. Disordered eating and obesity: associations between binge-eating disorder, night-eating syndrome, and weight-related comorbidities // *Annals of the New York Academy of Sciences*. – 2018. – Vol. 1411, № 1. – P. 96–105. DOI: 10.1111/nyas.13467
11. Stress, cortisol, and obesity: a role for cortisol responsiveness in identifying individuals prone to obesity / S.D. Hewa-galamulage, T.K. Lee, I.J. Clarke, B.A. Henry // *Domestic Animal Endocrinology*. – 2016. – Vol. 56. – P. S112–S120. DOI: 10.1016/j.domaniend.2016.03.004
12. St-Onge M.P. Sleep–obesity relation: underlying mechanisms and consequences for treatment // *Obesity Reviews*. – 2017. – Vol. 18, № 1. – P. 34–39. DOI: 10.1111/obr.12499
13. Ogilvie R.P., Patel S.R. The epidemiology of sleep and obesity // *Sleep Health*. – 2017. – Vol. 3, № 5. – P. 383–388. DOI: 10.1016/j.sleh.2017.07.013
14. Genetic studies of body mass index yield new insights for obesity biology / A.E. Locke, B. Kahali, S.I. Berndt, A.E. Justice, T.H. Pers, F.R. Day, C. Powell, S. Vedantam [et al.] // *Nature*. – 2015. – Vol. 518, № 7538. – P. 197–206. DOI: 10.1038/nature14177
15. Which obesity phenotypes predict poor health-related quality of life in adult men and women? Tehran Lipid and glucose study / P. Amiri, S. Jalali-Farahani, M. Rezaei, F. Hosseiniapanah, F. Aziz // *PLoS ONE*. – Vol. 13, № 9. – P. e0203028. DOI: 10.1371/journal.pone.0203028
16. Does the association between early life growth and later obesity differ by race/ethnicity or socioeconomic status? A systematic review / S.B. Andrea, E.R. Hooker, L.C. Messer, T. Tandy, J. Boone-Heinonen // *Annals of Epidemiology*. – 2017. – Vol. 27, № 9. – P. 583–592.e5. DOI: 10.1016/j.annepidem.2017.08.019
17. A systematic review of economic evaluations of local authority commissioned preventative public health interventions in overweight and obesity, physical inactivity, alcohol and illicit drugs use and smoking cessation in the United Kingdom / P. White, H. Skirrow, A. George, A. Memon // *J. Public Health (Oxf)*. – 2018. – Vol. 40, № 4. – P. e521–e530. DOI: 10.1093/pubmed/fdy026
18. The Gut Microbiota as a Mediator of Metabolic Benefits after Bariatric Surgery / F.F. Anhe, T.V. Varin, J.D. Schertzer, A. Marette // *Canadian Journal of Diabetes*. – 2017. – Vol. 41, № 4. – P. 439–447. DOI: 10.1016/j.cjcd.2017.02.002
19. Influencia de la microbiota y de los probióticos en la obesidad / L. Fontané, D.B. Boix, A.G. Arno, G.L. Sanz, J.P.-B. Montoya // *Clínica e Investig. en Arterioscler.* – 2018. – Vol. 30, № 6. – P. 271–279.
20. Gérard P. Gut microbiota and obesity // *Cellular and Molecular Life Sciences*. – 2016. – Vol. 73, № 1. – P. 147–162. DOI: 10.1007/s00018-015-2061-5
21. Childhood Obesity and Firmicutes/Bacteroidetes Ratio in the Gut Microbiota: A Systematic Review / C.M.D.S.P. Indiani, K.F. Rizzardi, P.M. Castelo, L. Fábio C. Ferraz, M. Darrieux, T. Manzano Parisotto // *Childhood Obesity*. – 2018. – Vol. 14, № 8. – P. 501–509. DOI: 10.1089/chi.2018.0040
22. Crovesy L., Masterson D., Rosado E.L. Profile of the gut microbiota of adults with obesity: a systematic review // *Eur. J. Clin. Nutr.* – 2020. – Vol. 74, № 9. – P. 1251–1262. DOI: 10.1038/s41430-020-0607-6
23. Shin N.R., Whon T.W., Bae J.W. Proteobacteria: Microbial signature of dysbiosis in gut microbiota // *Trends in Biotechnology*. – 2015. – Vol. 33, № 9. – P. 496–503. DOI: 10.1016/j.tibtech.2015.06.011
24. Growth requirements and fermentation products of *Fusobacterium prausnitzii*, and a proposal to reclassify it as *Faecalibacterium prausnitzii* gen. nov., comb. nov. / S.H. Duncan, G.L. Hold, H.J.M. Harmsen, C.S. Stewart, H.J. Flint // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* – 2002. – Vol. 52, № 6. – P. 2141–2146. DOI: 10.1099/00207713-52-6-2141
25. *Faecalibacterium prausnitzii*: From microbiology to diagnostics and prognostics / M. Lopez-Siles, S.H. Duncan, L.J. Garcia-Gil, M. Martinez-Medina // *ISME Journal*. – 2017. – Vol. 11, № 4. – P. 841–852. DOI: 10.1038/ismej.2016.176
26. Functional characterization of novel *Faecalibacterium prausnitzii* strains isolated from healthy volunteers: A step forward in the use of *F. prausnitzii* as a next-generation probiotic / R. Martín, S. Miquel, L. Benevides, C. Bridonneau, V. Robert, S. Hudault, F. Chain, O. Berteau [et al.] // *Front. Microbiol.* – 2017. – Vol. 8, № 30. – P. 1226. DOI: 10.3389/fmicb.2017.01226
27. Correlation between body mass index and gut concentrations of *Lactobacillus reuteri*, *Bifidobacterium animalis*, *Methanobrevibacter smithii* and *Escherichia coli* / M. Million, E. Angelakis, M. Maraninchi, M. Henry, R. Giorgi, R. Valero, B. Vialettes, D. Raoult // *Int. J. Obes. Int J Obes (Lond)*. – 2013. – Vol. 37, № 11. – P. 1460–1466. DOI: 10.1038/ijo.2013.20
28. Comparative genomics analysis of *Lactobacillus* species associated with weight gain or weight protection / F. Drissi, V. Merhej, E. Angelakis, A. El Kaoutari, F. Carrière, B. Henrissat, D. Raoult // *Nutr. Diabetes*. – 2014. – Vol. 4, № 2. – P. e109. DOI: 10.1038/nutd.2014.6
29. *Akkermansia muciniphila* in the Human Gastrointestinal Tract: When, Where, and How? / S.Y. Geerlings, I. Kostopoulos, W.M. de Vos, C. Belzer // *Microorganisms*. – 2018. – Vol. 6, № 3. – P. 75. DOI: 10.3390/microorganisms6030075
30. Derrien M., Belzer C., de Vos W.M. *Akkermansia muciniphila* and its role in regulating host functions // *Microbial Pathogenesis*. – 2017. – Vol. 106. – P. 171–181. DOI: 10.1016/j.micpath.2016.02.005
31. The common gut microbe *Eubacterium hallii* also contributes to intestinal propionate formation / C. Engels, H.-J. Ruscheweyh, N. Beerenwinkel, C. Lacroix, C. Schwab // *Front. Microbiol.* – 2016. – Vol. 19, № 7. – P. 713. DOI: 10.3389/fmicb.2016.00713

32. Alterations of the human gut *Methanobrevibacter smithii* as a biomarker for inflammatory bowel diseases / S.B. Ghavami, E. Rostami, A.A. Sephay, S. Shahrokh, H. Balaii, H.A. Aghdaei, M.R. Zali // *Microb. Pathog.* – 2018. – № 117. – P. 285–289. DOI: 10.1016/j.micpath.2018.01.029
33. A critical assessment of the ‘sterile womb’ and ‘in utero colonization’ hypotheses: Implications for research on the pioneer infant microbiome / M.E. Perez-Muñoz, M.-C. Arrieta, A.E. Ramer-Tait, J. Walter // *Microbiome*. – 2017. – Vol. 28, № 5 (1). – P. 48. DOI: 10.1186/s40168-017-0268-4
34. Microbiota establishment: An in utero colonization decisive for future health? / R. Gschwind, T. Fournier, M.-J. Butel, S. Wydau-Dematteis // *Medecine Sciences*. – 2018. – Vol. 34, № 4. – P. 331–337. DOI: 10.1051/medsci/20183404014
35. Pediatric obesity is associated with an altered gut microbiota and discordant shifts in Firmicutes populations / A. Riva, F. Borgo, C. Lassandro, E. Verduci, G. Morace, E. Borghi, D. Berry // *Environ. Microbiol.* – 2017. – Vol. 19, № 1. – P. 95–105. DOI: 10.1111/1462-2920.13463
36. Relative Abundance in Bacterial and Fungal Gut Microbes in Obese Children: A Case Control Study / F. Borgo, E. Verduci, A. Riva, C. Lassandro, E. Riva, G. Morace, E. Borghi [et al.] // *Child. Obes.* – 2017. – Vol. 13, № 1. – P. 78–84. DOI: 10.1089/chi.2015.0194
37. Establishment of intestinal microbiota during early life: A longitudinal, explorative study of a large cohort of Danish infants / A. Bergström, T.H. Skov, M.I. Bahl, H.M. Roager, L.B. Christensen, K.T. Ejlerskov, C. Mølgaard, K.F. Michaelsen, T.R. Licht // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2014. – Vol. 80, № 9. – P. 2889–2900. DOI: 10.1128/AEM.00342-14
38. The intestinal microbiota composition and weight development in children: The KOALA Birth Cohort Study / L.E.J.M. Scheepers, J. Penders, C.A. Mbakwa, C. Thijs, M. Mommers, I.C.W. Arts // *Int. J. Obes.* – 2015. – Vol. 39, № 1. – P. 16–25. DOI: 10.1038/ijo.2014.178
39. Correlation of intestinal microbiota with overweight and obesity in Kazakh school children / P. Xu, M. Li, J. Zhang, T. Zhang // *BMC Microbiol.* – 2012. – Vol. 12. – P. 283. DOI: 10.1186/1471-2180-12-283
40. Intestinal microflora and body mass index during the first three years of life: An observational study / C. Vael, S.L. Verhulst, V. Nelen, H. Goossens, K.N. Desager // *Gut Pathog.* – 2011. – Vol. 3, № 1. – P. 8. DOI: 10.1186/1757-4749-3-8
41. Correlation between body mass index and faecal microbiota from children / A. Ignacio, M.R. Fernandes, V.A.A. Rodrigues, F.C. Groppo, A.L. Cardoso, M.J. Avila-Campos, V. Nakano // *Clin. Microbiol. Infect.* – 2016. – Vol. 22, № 3. – P. 258.e1–258.e8. DOI: 10.1016/j.cmi.2015.10.031
42. The First Microbial Colonizers of the Human Gut: Composition, Activities, and Health Implications of the Infant Gut Microbiota / C. Milani, S. Duranti, F. Bottacini, E. Casey, F. Turroni, J. Mahony, C. Belzer, S. Delgado Palacio [et al.] // *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* – 2017. – Vol. 8, № 81 (4). – P. e00036–e000317. DOI: 10.1128/MMBR.00036-17
43. Maternal bacteria to correct abnormal gut microbiota in babies born by C-section / É.M. Butler, V. Chiavaroli, J.G.B. Derraik, C.P. Grigg, B.C. Wilson, N. Walker, J.M. O'Sullivan, W.S. Cutfield // *Medicine (Baltimore)*. – 2020. – Vol. 99, № 30. – P. e21315. DOI: 10.1097/MD.00000000000021315
44. Li H.T., Zhou Y.B., Liu J.M. The impact of cesarean section on offspring overweight and obesity: A systematic review and meta-analysis // *International Journal of Obesity*. – 2013. – Vol. 37, № 7. – P. 893–899. DOI: 10.1038/ijo.2012.195
45. Mode of delivery and offspring body mass index, overweight and obesity in adult life: A systematic review and meta-analysis / K. Darmasseelane, M.J. Hyde, S. Santhakumaran, C. Gale, N. Modi // *PLoS One*. – 2014. – Vol. 26, № 9 (2). – P. e87896. DOI: 10.1371/journal.pone.0087896
46. Kuhle S., Tong O.S., Woolcott C.G. Association between caesarean section and childhood obesity: A systematic review and meta-analysis // *Obesity Reviews*. – 2015. – Vol. 16, № 4. – P. 295–303. DOI: 10.1111/obr.12267
47. The mode of delivery affects the diversity and colonization pattern of the gut microbiota during the first year of infants' life: A systematic review / E. Rutayisire, K. Huang, Y. Liu, F. Tao // *BMC Gastroenterol.* – 2016. – Vol. 16, № 1. – P. 86. DOI: 10.1186/s12876-016-0498-0
48. Full Breastfeeding and Obesity in Children: A Prospective Study from Birth to 6 Years / J.A. Ortega-García, N. Kloosterman, L. Alvarez, E. Tobarra-Sánchez, A. Cárcelos-Álvarez, R. Pastor-Valero, F.A. López-Hernández, M. Sánchez-Solis, L. Claudio // *Child. Obes.* – 2018. – Vol. 14, № 5. – P. 327–337. DOI: 10.1089/chi.2017.0335
49. Partial restoration of the microbiota of cesarean-born infants via vaginal microbial transfer / M.G. Dominguez-Bello, K.M. De Jesus-Laboy, N. Shen, L.M. Cox, A. Amir, A. Gonzalez, N.A. Bokulich, S.J. Song [et al.] // *Nat. Med. Nature Publishing Group*. – 2016. – Vol. 22, № 3. – P. 250–253. DOI: 10.1038/nm.4039
50. Wallby T., Lagerberg D., Magnusson M. Relationship between Breastfeeding and Early Childhood Obesity: Results of a Prospective Longitudinal Study from Birth to 4 Years // *Breastfeed. Med.* – 2017. – Vol. 12, № 1. – P. 48–53. DOI: 10.1089/bfm.2016.0124
51. Nutrition in infancy and long-term risk of obesity: Evidence from 2 randomized controlled trials / A. Singhal, K. Kennedy, J. Lanigan, M. Fewtrell, T.J. Cole, T. Stephenson, A. Elias-Jones, L.T. Weaver [et al.] // *Am. J. Clin. Nutr.* – 2010. – Vol. 92, № 5. – P. 1133–1144. DOI: 10.3945/ajcn.2010.29302
52. Can infant feeding choices modulate later obesity risk? B. Koletzko, R. von Kries, R. Closa, J. Escribano, S. Scaglioni, M. Giovannini, J. Beyer, H. Demmelmair [et al.] // *Am. J. Clin. Nutr.* – 2009. – Vol. 89, № 5. – P. 1502S–1508S. DOI: 10.3945/ajcn.2009.27113D
53. Michaelsen K.F., Greer F.R. Protein needs early in life and long-term health // *Am. J. Clin. Nutr.* – 2014. – Vol. 99, № 3. – P. 718S–722S. DOI: 10.3945/ajcn.113.072603
54. Larnkjær A., Mølgaard C., Michaelsen K.F. Early nutrition impact on the insulin-like growth factor axis and later health consequences // *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. – 2012. – Vol. 15, № 3. – P. 285–292. DOI: 10.1097/MCO.0b013e328351c472
55. Turkmen et al. Comparison of Changes in Breast Milk Macronutrient Content during the First Month in Preterm and Term Infants / S. Sahin, T. Ozdemir, N. Katipoglu, A.B. Akcan, M. Kaynak // *Breastfeed. Med.* – 2020. – Vol. 15, № 1. – P. 56–62. DOI: 10.1089/bfm.2019.0141

56. Feeding Mode, but Not Prebiotics, Affects Colonic Microbiota Composition and Volatile Fatty Acid Concentrations in Sow-Reared, Formula-Fed, and Combination-Fed Piglets / M. Wang, E.C. Radlowski, M. Li, M.H. Monaco, S.M. Donovan // *J. Nutr.* – 2019. – Vol. 149, № 12. – P. 2156–2163. DOI: 10.1093/jn/nxz183
57. Impact of infant protein supply and other early life factors on plasma metabolome at 5.5 and 8 years of age: a randomized trial / F.F. Kirchberg, C. Hellmuth, M. Totzauer, O. Uhl, R. Closa-Monasterolo, J. Escribano, D. Gruszfeld, K. Gradowska [et al.] // *Int. J. Obes.* – 2020. – Vol. 44, № 1. – P. 69–81. DOI: 10.1038/s41366-019-0398-9
58. Role of selected amino acids on plasma IGF-I concentration in infants / M. Fleddermann, H. Demmelmair, V. Grote, M. Bidlingmaier, P. Grimminger, M. Bielowhuby, B. Koletzko // *Eur. J. Nutr.* – 2017. – Vol. 56, № 2. – P. 613–620. DOI: 10.1007/s00394-015-1105-9
59. Brands B., Demmelmair H., Koletzko B. How growth due to infant nutrition influences obesity and later disease risk // *Acta Paediatrica.* – 2014. – Vol. 103, № 6. – P. 578–585. DOI: 10.1111/apa.12593
60. Infant formula composition affects energetic efficiency for growth: The BeMIM study, a randomized controlled trial / M. Fleddermann, H. Demmelmair, V. Grote, T. Nikolic, B. Trisic, B. Koletzko // *Clin. Nutr.* – 2014. – Vol. 33, № 4. – P. 588–595. DOI: 10.1016/j.clnu.2013.12.007
61. Differential sensitivity of chronic high-fat-diet-induced obesity in Sprague-Dawley rats / S.R.K. Devan, S. Arumugam, G. Shankar, S. Poosala // *J. Basic Clin. Physiol. Pharmacol.* – 2018. – Vol. 29, № 5. – P. 553–563. DOI: 10.1515/jbcpp-2017-0030
62. Das U.N. The lipids that matter from infant nutrition to insulin resistance // *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids.* – 2002. – Vol. 67, № 1. – P. 1–12. DOI: 10.1054/plef.2002.0374
63. Epigenetic effects of human breast milk / E. Verduci, G. Banderli, S. Barberi, G. Radaelli, A. Lops, F. Betti, E. Riva, M. Giovannini // *Nutrients.* – 2014. – Vol. 6, № 4. – P. 1711–1724. DOI: 10.3390/nu6041711
64. The maternal microbiome during pregnancy and allergic disease in the offspring / P.J. Vuillermin, L. Macia, R. Nanan, M.L.K. Tang, F. Collier, S. Brix // *Seminars in Immunopathology.* – 2017. – Vol. 39, № 6. – P. 669–675. DOI: 10.1007/s00281-017-0652-y
65. Bering S.B. Human milk oligosaccharides to prevent gut dysfunction and necrotizing enterocolitis in preterm neonates // *Nutrients.* – 2018. – Vol. 10, № 10. – P. 1461. DOI: 10.3390/nu10101461
66. Full Breastfeeding and Obesity in Children: A Prospective Study from Birth to 6 Years / J.A. Ortega-García, N. Kloosterman, L. Alvarez, E. Tobarra-Sánchez, A. Cárcelos-Álvarez, R. Pastor-Valero, F.A. López-Hernández, M. Sánchez-Solis, L. Claudio // *Child. Obes.* – 2018. – Vol. 14, № 5. – P. 327–337. DOI: 10.1089/chi.2017.0335
67. Obesity and breastfeeding: The strength of association / L. Marseglia, S. Manti, G. D'Angelo, C. Cuppari, V. Salpietro, M. Filippelli, A. Trovato, E. Gitto, C. Salpietro, T. Arrigo // *Women and Birth.* – 2015. – Vol. 28, № 2. – P. 81–86. DOI: 10.1016/j.wombi.2014.12.007
68. Zinöcker M.K., Lindseth I.A. The western diet–microbiome–host interaction and its role in metabolic disease // *Nutrients.* – 2018. – Vol. 10, № 3. – P. 365. DOI: 10.3390/nu10030365
69. Influence of diet on the gut microbiome and implications for human health / R.K. Singh, H.-W. Chang, D. Yan, K.M. Lee, D. Ucmak, K. Wong, M. Abrouk, B. Farahnik [et al.] // *Journal of Translational Medicine.* – 2017. – Vol. 8, № 15 (1). – P. 73. DOI: 10.1186/s12967-017-1175-y
70. Gut microbiome: Profound implications for diet and disease / R.D. Hills, B.A. Pontefract, H.R. Mishcon, C.A. Black, S.C. Sutton, C.R. Theberge // *Nutrients.* – 2019. – Vol. 11, № 7. – P. 1613. DOI: 10.3390/nu11071613
71. Impact of diet in shaping gut microbiota revealed by a comparative study in children from Europe and rural Africa / C. De Filippo, D. Cavalieri, M. Di Paola, M. Ramazzotti, J. Baptiste Poullet, S. Massart, S. Collini, G. Pieraccini, P. Lionetti // *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* – 2010. – Vol. 107, № 33. – P. 14691–14696. DOI: 10.1073/pnas.1005963107
72. Holscher H.D. Dietary fiber and prebiotics and the gastrointestinal microbiota // *Gut Microbes.* – 2017. – Vol. 8, № 2. – P. 172–184. DOI: 10.1080/19490976.2017.1290756
73. Gentile C.L., Weir T.L. The gut microbiota at the intersection of diet and human health // *Science.* – 2018. – Vol. 362, № 6416. – P. 776–780. DOI: 10.1126/science.aau5812
74. Shifts on gut microbiota associated to mediterranean diet adherence and specific dietary intakes on general adult population / I. Garcia-Mantrana, M. Selma-Royo, C. Alcantara, M.C. Collado // *Front. Microbiol.* – 2018. – Vol. 7, № 9. – P. 890. DOI: 10.3389/fmicb.2018.00890
75. Surgery for weight loss in adults / J.L. Colquitt, K. Pickett, E. Loveman, G.K. Frampton // *Cochrane Database of Systematic Reviews.* – 2014. – Vol. 2014, № 8. – P. CD003641. DOI: 10.1002/14651858.CD003641.pub4
76. Phillips B.T., Shikora S.A. The history of metabolic and bariatric surgery: Development of standards for patient safety and efficacy // *Metabolism: Clinical and Experimental.* – 2018. – № 79. – P. 97–107. DOI: 10.1016/j.metabol.2017.12.010
77. Shifts in intestinal microbiota after duodenal exclusion favor glycemic control and weight loss: a randomized controlled trial / R.V. Cortez, T. Petry, P. Caravatto, R. Pessôa, S.S. Sanabani, M.B. Martinez, T. Sarian, J.E. Salles, R. Cohen, C.R. Taddei // *Surg. Obes. Relat. Dis.* – 2018. – Vol. 14, № 11. – P. 1748–1754. DOI: 10.1016/j.soard.2018.07.021
78. Probiotic or synbiotic alters the gut microbiota and metabolism in a randomised controlled trial of weight management in overweight adults / A.A. Hibberd, C.C. Yde, M.L. Ziegler, A.H. Honoré, M.T. Saarinen, S. Lahtinen, B. Stahl, H.M. Jensen, L.K. Stenman // *Benef. Microbes.* – 2019. – Vol. 10, № 2. – P. 121–135. DOI: 10.3920/BM2018.0028
79. Investigation the effect of oleoylethanolamide supplementation on the abundance of *Akkermansia muciniphila* bacterium and the dietary intakes in people with obesity: A randomized clinical trial / L. Payahoo, Y. Khajebishak, M.R. Alivand, H. Soleimanzade, S. Alipour, A. Barzegari, A. Ostadrahimi // *Appetite.* – 2019. – Vol. 1, № 141. – P. 104301. DOI: 10.1016/j.appet.2019.05.032

Состав кишечной микробиоты как фактор риска развития ожирения у детей / П.Ю. Петрова, А.Д. Ага, Е.С. Трапезникова, Е.В. Буданова // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 159–172. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.17



Review

GUT MICROBIOTA AS RISK FACTOR CAUSING OBESITY IN CHILDREN

P.Yu. Petrova, A.D. Aga, E.S. Trapeznikova, E.V. Budanova

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, 8/1 Trubetskaya Str., Moscow, 119048, Russian Federation

Nowadays obesity resulting from abnormal or excessive fat deposits in a body has become a true epidemic. Risk factors that cause the disease include improper lifestyle, hereditary predisposition, as well as metabolic activity of gut microbiota. Research works performed over the last decades indicate that microbes that create colonies in human intestines play a significant role in maintaining proper metabolism. There is a correlation between disorders in gut microbiota structure and immune disorders, elevated susceptibility to infections, and obesity. There is more and more evidence that gut microbiota and its overall bacterial genome exert their influence on nutrients assimilation and regulate energy metabolism and fat accumulation.

Certain differences were detected in microbiota gut structure in children and adults with obesity and people with proper body mass index. Delivery and feeding are among key factors influencing gut microbiota formation in a child. Thus, research results indicate that natural birth, as opposed to cesarean section, can prevent obesity occurrence in a child. Breast-feeding also makes a substantial contribution into development of an infant since breast milk is balanced food that provides optimal metabolism in an infant's body and helps creating proper gut microbiota. At the same time, according to data obtained via numerous research works, artificial feeding can be related to obesity occurrence in future.

Ways to fight obesity include medication therapy, dietary nutrition, physical activity as well as bariatric surgery; the latter is nowadays considered to be the most efficient procedure on the matter. Reduction in body mass via influencing gut microbiota is a promising trend in research in the sphere. Despite there are objective data on benign effects produced by probiotics and prebiotics on gut microbiota, experts haven't been able to reach agreement on their efficiency yet.

Key words: obesity, gut microbiota, obesity in children, probiotics, prebiotics, *Akkermansia muciniphila*, feeding, delivery, nutrition habits.

References

1. Garabedian L.F., Ross-Degnan D., Wharam J.F. Mobile Phone and Smartphone Technologies for Diabetes Care and Self-Management. *Current Diabetes Reports*, 2015, vol. 15, no. 12, pp. 109. DOI: 10.1007/s11892-015-0680-8
2. Davis C.D. The gut microbiome and its role in obesity. *Nutr. Today*, 2016, vol. 51, no. 4, pp. 167–174. DOI: 10.1097/NT.0000000000000167
3. Davis H.C. Can the gastrointestinal microbiota be modulated by dietary fibre to treat obesity? *Irish Journal of Medical Science*, 2018, vol. 187, no. 2, pp. 393–402. DOI: 10.1007/s11845-017-1686-9
4. Obesity and overweight. *World health organization*. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (23.09.2020) (in Russian).
5. Pihl A.F., Fonvig C.E., Stjernholm T., Hansen T., Pedersen O., Holm J.-C. The role of the gut microbiota in childhood obesity. *Childhood Obesity*, 2016, vol. 12, no. 4, pp. 292–299. DOI: 10.1089/chi.2015.0220
6. Gérard P. Gut microbiota and obesity. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2016, vol. 73, no. 1, pp. 147–162. DOI: 10.1007/s00018-015-2061-5
7. Li D., Wang P., Wang P., Hu X., Chen F. The gut microbiota: A treasure for human health. *Biotechnology Advances*, 2016, vol. 34, no. 7, pp. 1210–1224. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2016.08.003
8. Wang B., Yao M., Lv L., Ling Z., Li L. The Human Microbiota in Health and Disease. *Engineering*, 2017, vol. 3, no. 1, pp. 71–82. DOI: 10.1016/J.ENG.2017.01.008
9. Styne D.M., Arslanian S.A., Connor E.L., Farooqi I.S., Murad M.H., Silverstein J.H., Yanovski J.A. Pediatric obesity-assessment, treatment, and prevention: An endocrine society clinical practice guideline. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 2017, vol. 102, no. 3, pp. 709–757. DOI: 10.1210/jc.2016-2573

© Petrova P.Yu., Aga A.D., Trapeznikova E.S., Budanova E.V., 2021

Polina Yu. Petrova – undergraduate student (e-mail: petrova.polina.13@mail.ru; tel.: +7 (960) 468-87-86; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3357-9093>).

Alexandra D. Aga – undergraduate student (e-mail: alexandra.aga99@gmail.com; tel.: +7 (916) 279-63-06; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9399-407X>).

Ekaterina S. Trapeznikova – undergraduate student (e-mail: trapeznikova_01@icloud.com; tel.: +7 (952) 524-90-98; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1274-4667>).

Elena V. Budanova – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Department for Microbiology, Virology and Immunology (e-mail: e.v.budanova@mail.ru; tel.: +7 (925) 704-39-09; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1864-5635>).

10. McCuen-Wurst C., Ruggieri M., Allison K.C. Disordered eating and obesity: associations between binge-eating disorder, night-eating syndrome, and weight-related comorbidities. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2018, vol. 1411, no. 1, pp. 96–105. DOI: 10.1111/nyas.13467
11. Hewagalamulage S.D., Lee T.K., Clarke I.J., Henry B.A. Stress, cortisol, and obesity: a role for cortisol responsiveness in identifying individuals prone to obesity. *Domestic Animal Endocrinology*, 2016, vol. 56, pp. S112–S120. DOI: 10.1016/j.domaniend.2016.03.004
12. St-Onge M.P. Sleep–obesity relation: underlying mechanisms and consequences for treatment. *Obesity Reviews*, 2017, vol. 18, no. 1, pp. 34–39. DOI: 10.1111/obr.12499
13. Ogilvie R.P., Patel S.R. The epidemiology of sleep and obesity. *Sleep Health*, 2017, vol. 3, no. 5, pp. 383–388. DOI: 10.1016/j.sleh.2017.07.013
14. Locke A.E., Kahali B., Berndt S.I., Justice A.E., Pers T.H., Day F.R., Powell C., Vedantam S. [et al.]. Genetic studies of body mass index yield new insights for obesity biology. *Nature*, 2015, vol. 518, no. 7538, pp. 197–206. DOI: 10.1038/nature14177
15. Amiri P., Jalali-Farahani S., Rezaei M., Hosseinpah F., Aziz F. Which obesity phenotypes predict poor health-related quality of life in adult men and women? Tehran Lipid and glucose study. *PLoS ONE*, vol. 13, no. 9, pp. e0203028. DOI: 10.1371/journal.pone.0203028
16. Andrea S.B., Hooker E.R., Messer L.C., Tandy T., Boone-Heinonen J. Does the association between early life growth and later obesity differ by race/ethnicity or socioeconomic status? A systematic review. *Annals of Epidemiology*, 2017, vol. 27, no. 9, pp. 583–592.e5. DOI: 10.1016/j.annepidem.2017.08.019
17. White P., Skirrow H., George A., Memon A. A systematic review of economic evaluations of local authority commissioned preventative public health interventions in overweight and obesity, physical inactivity, alcohol and illicit drugs use and smoking cessation in the United Kingdom. *J. Public Health (Oxf)*, 2018, vol. 40, no. 4, pp. e521–e530. DOI: 10.1093/pubmed/fdy026
18. Anhê F.F., Varin T.V., Schertzer J.D., Marette A. The Gut Microbiota as a Mediator of Metabolic Benefits after Bariatric Surgery. *Canadian Journal of Diabetes*, 2017, vol. 41, no. 4, pp. 439–447. DOI: 10.1016/j.jcjd.2017.02.002
19. Fontané L., Boix D.B., Arno A.G., Sanz G.L., Montoya J.P.-B. Influencia de la microbiota y de los probióticos en la obesidad. *Clínica e Investig. en Arterioscler*, 2018, vol. 30, no. 6, pp. 271–279.
20. Gérard P. Gut microbiota and obesity. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2016, vol. 73, no. 1, pp. 147–162. DOI: 10.1007/s00018-015-2061-5
21. Indiani C.M.D.S.P., Rizzardi K.F., Castelo P.M., Fábio L. Ferraz C., Darrieux M., Manzano Parisotto T. Childhood Obesity and Firmicutes/Bacteroidetes Ratio in the Gut Microbiota: A Systematic Review. *Childhood Obesity*, 2018, vol. 14, no. 8, pp. 501–509. DOI: 10.1089/chi.2018.0040
22. Crovesy L., Masterson D., Rosado E.L. Profile of the gut microbiota of adults with obesity: a systematic review. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2020, vol. 74, no. 9, pp. 1251–1262. DOI: 10.1038/s41430-020-0607-6
23. Shin N.R., Whon T.W., Bae J.W. Proteobacteria: Microbial signature of dysbiosis in gut microbiota. *Trends in Biotechnology*, 2015, vol. 33, no. 9, pp. 496–503. DOI: 10.1016/j.tibtech.2015.06.011
24. Duncan S.H., Hold G.L., Harmsen H.J.M., Stewart C.S., Flint H.J. Growth requirements and fermentation products of *Fusobacterium prausnitzii*, and a proposal to reclassify it as *Faecalibacterium prausnitzii* gen. nov., comb. nov. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 2002, vol. 52, no. 6, pp. 2141–2146. DOI: 10.1099/00207713-52-6-2141
25. Lopez-Siles M., Duncan S.H., Garcia-Gil L.J., Martinez-Medina M. *Faecalibacterium prausnitzii*: From microbiology to diagnostics and prognostics. *ISME Journal*, 2017, vol. 11, no. 4, pp. 841–852. DOI: 10.1038/ismej.2016.176
26. Martín R., Miquel S., Benevides L., Bridonneau C., Robert V., Hudault S., Chain F., Berteau O. [et al.]. Functional characterization of novel *Faecalibacterium prausnitzii* strains isolated from healthy volunteers: A step forward in the use of *F. prausnitzii* as a next-generation probiotic. *Front. Microbiol.*, 2017, vol. 8, no. 30, pp. 1226. DOI: 10.3389/fmicb.2017.01226
27. Million M., Angelakis E., Maraninchi M., Henry M., Giorgi R., Valero R., Viallettes B., Raoult D. Correlation between body mass index and gut concentrations of *Lactobacillus reuteri*, *Bifidobacterium animalis*, *Methanobrevibacter smithii* and *Escherichia coli*. *Int. J. Obes. Int J Obes (Lond)*, 2013, vol. 37, no. 11, pp. 1460–1466. DOI: 10.1038/ijo.2013.20
28. Drissi F., Merhej V., Angelakis E., El Kaoutari A., Carrière F., Henrissat B., Raoult D. Comparative genomics analysis of *Lactobacillus* species associated with weight gain or weight protection. *Nutr. Diabetes*, 2014, vol. 4, no. 2, pp. e109. DOI: 10.1038/nutd.2014.6
29. Geerlings S.Y., Kostopoulos I., de Vos W.M., Belzer C. *Akkermansia muciniphila* in the Human Gastrointestinal Tract: When, Where, and How? *Microorganisms*, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 75. DOI: 10.3390/microorganisms6030075
30. Derrien M., Belzer C., de Vos W.M. *Akkermansia muciniphila* and its role in regulating host functions. *Microbial Pathogenesis*, 2017, vol. 106, pp. 171–181. DOI: 10.1016/j.micpath.2016.02.005
31. Engels C., Ruscheweyh H.-J., Beerenwinkel N., Lacroix C., Schwab C. The common gut microbe *Eubacterium hallii* also contributes to intestinal propionate formation. *Front. Microbiol.*, 2016, vol. 19, no. 7, pp. 713. DOI: 10.3389/fmicb.2016.00713
32. Ghavami S.B., Rostami E., Sephay A.A., Shahrokh S., Balaii H., Aghdaei H.A., Zali M.R. Alterations of the human gut *Methanobrevibacter smithii* as a biomarker for inflammatory bowel diseases. *Microb. Pathog.*, 2018, no. 117, pp. 285–289. DOI: 10.1016/j.micpath.2018.01.029
33. Perez-Muñoz M.E., Arrieta M.-C., Ramer-Tait A.E., Walter J. A critical assessment of the «sterile womb» and «in utero colonization» hypotheses: Implications for research on the pioneer infant microbiome. *Microbiome*, 2017, vol. 28, no. 5 (1), pp. 48. DOI: 10.1186/s40168-017-0268-4
34. Gschwind R., Fournier T., Butel M.-J., Wydau-Demattis S. Microbiota establishment: An in utero colonization decisive for future health? *Medicine Sciences*, 2018, vol. 34, no. 4, pp. 331–337. DOI: 10.1051/medsci/20183404014
35. Riva A., Borgo F., Lassandro C., Verduci E., Morace G., Borghi E., Berry D. Pediatric obesity is associated with an altered gut microbiota and discordant shifts in Firmicutes populations. *Environ. Microbiol.*, 2017, vol. 19, no. 1, pp. 95–105. DOI: 10.1111/1462-2920.13463

36. Borgo F., Verduci E., Riva A., Lassandro C., Riva E., Morace G., Borghi E. [et al.]. Relative Abundance in Bacterial and Fungal Gut Microbes in Obese Children: A Case Control Study. *Child. Obes.*, 2017, vol. 13, no. 1, pp. 78–84. DOI: 10.1089/chi.2015.0194
37. Bergström A., Skov T.H., Bahl M.I., Roager H.M., Christensen L.B., Ejlerskov K.T., Mølgaard C., Michaelsen K.F., Licht T.R. Establishment of intestinal microbiota during early life: A longitudinal, explorative study of a large cohort of Danish infants. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2014, vol. 80, no. 9, pp. 2889–2900. DOI: 10.1128/AEM.00342-14
38. Scheepers L.E.J.M., Penders J., Mbakwa C.A., Thijs C., Mommers M., Arts I.C.W. The intestinal microbiota composition and weight development in children: The KOALA Birth Cohort Study. *Int. J. Obes.*, 2015, vol. 39, no. 1, pp. 16–25. DOI: 10.1038/ijo.2014.178
39. Xu P., Li M., Zhang J., Zhang T. Correlation of intestinal microbiota with overweight and obesity in Kazakh school children. *BMC Microbiol.*, 2012, vol. 12, pp. 283. DOI: 10.1186/1471-2180-12-283
40. Vael C., Verhulst S.L., Nelen V., Goossens H., Desager K.N. Intestinal microflora and body mass index during the first three years of life: An observational study. *Gut Pathog.*, 2011, vol. 3, no. 1, pp. 8. DOI: 10.1186/1757-4749-3-8
41. Ignacio A., Fernandes M.R., Rodrigues V.A.A., Groppo F.C., Cardoso A.L., Avila-Campos M.J., Nakano V. Correlation between body mass index and faecal microbiota from children. *Clin. Microbiol. Infect.*, 2016, vol. 22, no. 3, pp. 258.e1–258.e8. DOI: 10.1016/j.cmi.2015.10.031
42. Milani C., Duranti S., Bottacini F., Casey E., Turrone F., Mahony J., Belzer C., Delgado Palacio S. [et al.]. The First Microbial Colonizers of the Human Gut: Composition, Activities, and Health Implications of the Infant Gut Microbiota. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 2017, vol. 81, no. 4, pp. e00036–e00037. DOI: 10.1128/MMBR.00036-17
43. Butler E.M., Chiavaroli V., Derraik J.G.B., Grigg C.P., Wilson B.C., Walker N., O'Sullivan J.M., Cutfield W.S. Maternal bacteria to correct abnormal gut microbiota in babies born by C-section. *Medicine (Baltimore)*, 2020, vol. 99, no. 30, pp. e21315. DOI: 10.1097/MD.00000000000021315
44. Li H.T., Zhou Y.B., Liu J.M. The impact of cesarean section on offspring overweight and obesity: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Obesity*, 2013, vol. 37, no. 7, pp. 893–899. DOI: 10.1038/ijo.2012.195
45. Darmasseelane K., Hyde M.J., Santhakumaran S., Gale C., Modi N. Mode of delivery and offspring body mass index, overweight and obesity in adult life: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, 2014, vol. 26, no. 9 (2), pp. e87896. DOI: 10.1371/journal.pone.0087896
46. Kuhle S., Tong O.S., Woolcott C.G. Association between caesarean section and childhood obesity: A systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*, 2015, vol. 16, no. 4, pp. 295–303. DOI: 10.1111/obr.12267
47. Rutayisire E., Huang K., Liu Y., Tao F. The mode of delivery affects the diversity and colonization pattern of the gut microbiota during the first year of infants' life: A systematic review. *BMC Gastroenterol.*, 2016, vol. 16, no. 1, pp. 86. DOI: 10.1186/s12876-016-0498-0
48. Ortega-García J.A., Kloosterman N., Alvarez L., Tobarra-Sánchez E., Cárcelos-Álvarez A., Pastor-Valero R., López-Hernández F.A., Sánchez-Solis M., Claudio L. Full Breastfeeding and Obesity in Children: A Prospective Study from Birth to 6 Years. *Child. Obes.*, 2018, vol. 14, no. 5, pp. 327–337. DOI: 10.1089/chi.2017.0335
49. Dominguez-Bello M.G., De Jesus-Laboy K.M., Shen N., Cox L.M., Amir A., Gonzalez A., Bokulich N.A., Song S.J. [et al.]. Partial restoration of the microbiota of cesarean-born infants via vaginal microbial transfer. *Nat. Med. Nature Publishing Group*, 2016, vol. 22, no. 3, pp. 250–253. DOI: 10.1038/nm.4039
50. Wallby T., Lagerberg D., Magnusson M. Relationship between Breastfeeding and Early Childhood Obesity: Results of a Prospective Longitudinal Study from Birth to 4 Years. *Breastfeed. Med.*, 2017, vol. 12, no. 1, pp. 48–53. DOI: 10.1089/bfm.2016.0124
51. Singhal A., Kennedy K., Lanigan J., Fewtrell M., Cole T.J., Stephenson T., Elias-Jones A., Weaver L.T. [et al.]. Nutrition in infancy and long-term risk of obesity: Evidence from 2 randomized controlled trials. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2010, vol. 92, no. 5, pp. 1133–1144. DOI: 10.3945/ajcn.2010.29302
52. Koletzko B., von Kries R., Closa R., Escribano J., Scaglioni S., Giovannini M., Beyer J., Demmelmair H. [et al.]. Can infant feeding choices modulate later obesity risk? *Am. J. Clin. Nutr.*, 2009, vol. 89, no. 5, pp. 1502S–1508S. DOI: 10.3945/ajcn.2009.27113D
53. Michaelsen K.F., Greer F.R. Protein needs early in life and long-term health. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2014, vol. 99, no. 3, pp. 718S–722S. DOI: 10.3945/ajcn.113.072603
54. Larnkjær A., Mølgaard C., Michaelsen K.F. Early nutrition impact on the insulin-like growth factor axis and later health consequences. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 2012, vol. 15, no. 3, pp. 285–292. DOI: 10.1097/MCO.0b013e328351c472
55. Sahin S., Ozdemir T., Katipoglu N., Akcan A.B., Kaynak M. Turkmen et al. Comparison of Changes in Breast Milk Macronutrient Content during the First Month in Preterm and Term Infants. *Breastfeed. Med.*, 2020, vol. 15, no. 1, pp. 56–62. DOI: 10.1089/bfm.2019.0141
56. Wang M., Radlowski E.C., Li M., Monaco M.H., Donovan S.M. Feeding Mode, but Not Prebiotics, Affects Colonic Microbiota Composition and Volatile Fatty Acid Concentrations in Sow-Reared, Formula-Fed, and Combination-Fed Piglets. *J. Nutr.*, 2019, vol. 149, no. 12, pp. 2156–2163. DOI: 10.1093/jn/nxz183
57. Kirchberg F.F., Hellmuth C., Totzauer M., Uhl O., Closa-Monasterolo R., Escribano J., Gruszfeld D., Gradowska K. [et al.]. Impact of infant protein supply and other early life factors on plasma metabolome at 5.5 and 8 years of age: a randomized trial. *Int. J. Obes.*, 2020, vol. 44, no. 1, pp. 69–81. DOI: 10.1038/s41366-019-0398-9
58. Fleddermann M., Demmelmair H., Grote V., Bidlingmaier M., Grimminger P., Bielohuby M., Koletzko B. Role of selected amino acids on plasma IGF-I concentration in infants. *Eur. J. Nutr.*, 2017, vol. 56, no. 2, pp. 613–620. DOI: 10.1007/s00394-015-1105-9
59. Brands B., Demmelmair H., Koletzko B. How growth due to infant nutrition influences obesity and later disease risk. *Acta Paediatrica*, 2014, vol. 103, no. 6, pp. 578–585. DOI: 10.1111/apa.12593
60. Fleddermann M., Demmelmair H., Grote V., Nikolic T., Trisic B., Koletzko B. Infant formula composition affects energetic efficiency for growth: The BeMIM study, a randomized controlled trial. *Clin. Nutr.*, 2014, vol. 33, no. 4, pp. 588–595. DOI: 10.1016/j.clnu.2013.12.007

61. Devan S.R.K., Arumugam S., Shankar G., Poosala S. Differential sensitivity of chronic high-fat-diet-induced obesity in Sprague-Dawley rats. *J. Basic Clin. Physiol. Pharmacol.*, 2018, vol. 29, no. 5, pp. 553–563. DOI: 10.1515/jbcpp-2017-0030
62. Das U.N. The lipids that matter from infant nutrition to insulin resistance. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 2002, vol. 67, no. 1, pp. 1–12. DOI: 10.1054/plef.2002.0374
63. Verduci E., Banderali G., Barberi S., Radaelli G., Lops A., Betti F., Riva E., Giovannini M. Epigenetic effects of human breast milk. *Nutrients*, 2014, vol. 6, no. 4, pp. 1711–1724. DOI: 10.3390/nu6041711
64. Vuillermin P.J., Macia L., Nanan R., Tang M.L.K., Collier F., Brix S. The maternal microbiome during pregnancy and allergic disease in the offspring. *Seminars in Immunopathology*, 2017, vol. 39, no. 6, pp. 669–675. DOI: 10.1007/s00281-017-0652-y
65. Bering S.B. Human milk oligosaccharides to prevent gut dysfunction and necrotizing enterocolitis in preterm neonates. *Nutrients*, 2018, vol. 10, no. 10, pp. 1461. DOI: 10.3390/nu10101461
66. Ortega-García J.A., Kloosterman N., Alvarez L., Tobarra-Sánchez E., Cárcelos-Álvarez A., Pastor-Valero R., López-Hernández F.A., Sánchez-Solis M., Claudio L. Full Breastfeeding and Obesity in Children: A Prospective Study from Birth to 6 Years. *Child. Obes.*, 2018, vol. 14, no. 5, pp. 327–337. DOI: 10.1089/chi.2017.0335
67. Marseglia L., Manti S., D'Angelo G., Cuppari C., Salpietro V., Filippelli M., Trovato A., Gitto E., Salpietro C., Arrigo T. Obesity and breastfeeding: The strength of association. *Women and Birth*, 2015, vol. 28, no. 2, pp. 81–86. DOI: 10.1016/j.wombi.2014.12.007
68. Zinöcker M.K., Lindseth I.A. The western diet–microbiome–host interaction and its role in metabolic disease. *Nutrients*, 2018, vol. 10, no. 3, pp. 365. DOI: 10.3390/nu10030365
69. Singh R.K., Chang H.-W., Yan D., Lee K.M., Ucmak D., Wong K., Abrouk M., Farahnik B. [et al.]. Influence of diet on the gut microbiome and implications for human health. *Journal of Translational Medicine*, 2017, vol. 8, no. 15 (1), pp. 73. DOI: 10.1186/s12967-017-1175-y
70. Hills R.D., Pontefract B.A., Mishcon H.R., Black C.A., Sutton S.C., Theberge C.R. Gut microbiome: Profound implications for diet and disease. *Nutrients*, 2019, vol. 11, no. 7, pp. 1613. DOI: 10.3390/nu11071613
71. De Filippo C., Cavalieri D., Di Paola M., Ramazzotti M., Baptiste Poullet J., Massart S., Collini S., Pieraccini G., Lionetti P. Impact of diet in shaping gut microbiota revealed by a comparative study in children from Europe and rural Africa. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 2010, vol. 107, no. 33, pp. 14691–14696. DOI: 10.1073/pnas.1005963107
72. Holscher H.D. Dietary fiber and prebiotics and the gastrointestinal microbiota. *Gut Microbes*, 2017, vol. 8, no. 2, pp. 172–184. DOI: 10.1080/19490976.2017.1290756
73. Gentile C.L., Weir T.L. The gut microbiota at the intersection of diet and human health. *Science*, 2018, vol. 362, no. 6416, pp. 776–780. DOI: 10.1126/science.aau5812
74. García-Mantrana I., Selma-Royo M., Alcantara C., Collado M.C. Shifts on gut microbiota associated to mediterranean diet adherence and specific dietary intakes on general adult population. *Front. Microbiol.*, 2018, vol. 7, no. 9, pp. 890. DOI: 10.3389/fmicb.2018.00890
75. Colquitt J.L., Pickett K., Loveman E., Frampton G.K. Surgery for weight loss in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2014, vol. 2014, no. 8, pp. CD003641. DOI: 10.1002/14651858.CD003641.pub4
76. Phillips B.T., Shikora S.A. The history of metabolic and bariatric surgery: Development of standards for patient safety and efficacy. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 2018, no. 79, pp. 97–107. DOI: 10.1016/j.metabol.2017.12.010
77. Cortez R.V., Petry T., Caravatto P., Pessôa R., Sanabani S.S., Martinez M.B., Sarian T., Salles J.E., Cohen R., Taddei C.R. Shifts in intestinal microbiota after duodenal exclusion favor glycemic control and weight loss: a randomized controlled trial. *Surg. Obes. Relat. Dis.*, 2018, vol. 14, no. 11, pp. 1748–1754. DOI: 10.1016/j.soard.2018.07.021
78. Hibberd A.A., Yde C.C., Ziegler M.L., Honoré A.H., Saarinen M.T., Lahtinen S., Stahl B., Jensen H.M., Stenman L.K. Probiotic or synbiotic alters the gut microbiota and metabolism in a randomised controlled trial of weight management in overweight adults. *Benef. Microbes*, 2019, vol. 10, no. 2, pp. 121–135. DOI: 10.3920/BM2018.0028
79. Payahoo L., Khajebishak Y., Alivand M.R., Soleimanzade H., Alipour S., Barzegari A., Ostadrahimi A. Investigation the effect of oleoylethanolamide supplementation on the abundance of Akkermansia muciniphila bacterium and the dietary intakes in people with obesity: A randomized clinical trial. *Appetite*, 2019, vol. 1, no. 141, pp. 104301. DOI: 10.1016/j.appet.2019.05.032

Petrova P.Yu., Aga A.D., Trapeznikova E.S., Budanova E.V. Gut microbiota as risk factor causing obesity in children. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 159–172. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.17.eng

Получена: 26.01.2021

Принята: 16.02.2021

Опубликована: 30.03.2021

УДК 614.39

DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.18

Обзорная статья

Читать
онлайн



РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-АССОЦИИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАБОТНИКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА: ОПЫТ РОССИИ И ДРУГИХ СТРАН

**В.А. Логинова¹, Ю.Н. Каськов¹, Е.А. Жидкова^{2,3},
К.Г. Гуревич³, Ю.Л. Смертина⁴, О.А. Плетникова⁴**

¹Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по железнодорожному транспорту, Россия, 115054, г. Москва, ул. Дубининская, 17

²Центральная дирекция здравоохранения – филиал ОАО «РЖД», Россия, 123557, г. Москва, ул. Малая Грузинская, 52а

³Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, Россия, 127473, г. Москва, ул. Делегатская, 20/1

⁴Центр гигиены и эпидемиологии по железнодорожному транспорту, Россия, 105066, г. Москва, 1-й Басманный переулок, 8, стр. 2

Актуальность исследования заключается в повышении безопасности условий труда работников железнодорожного транспорта за счет уменьшения воздействия производственных факторов риска.

Осуществлен сравнительный анализ требований по охране здоровья работников железных дорог. В качестве метода был использован несистематический анализ литературы по базам данных Elibrary, Pubmed и Cochrane по заданным ключевым словам.

В результате исследования показано, что железнодорожное движение сопряжено с целым рядом производственных факторов риска, из-за чего значительное число рабочих мест машинистов и других сотрудников железных дорог относятся к третьему (вредному) классу. Среди производственных факторов основными являются: шум и вибрация, психоэмоциональные нагрузки у работников локомотивных бригад и лиц диспетчерских профессий, действие промышленных аэрозолей, электромагнитные излучения, колебание микроклиматических параметров в кабинах локомотивов. Перечисленные производственные факторы оказывают влияние не только на лиц, непосредственно работающих на железных дорогах, но и на проживающих в непосредственной близости от них. Поэтому в большинстве стран мира имеется законодательная база по охране здоровья лиц, на которых так или иначе могут воздействовать производственные факторы, связанные с железнодорожным движением. Как показал проведенный анализ литературных данных, в целом отечественное законодательство соответствует зарубежному. Основы гармонизации отечественного законодательства с зарубежным заложены Федеральным законом от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Гармонизация международного и отечественного законодательства по уменьшению суммарного воздействия производственных факторов риска позволяет сохранять активное рабочее долголетие и предотвратить развитие производственно обусловленных заболеваний.

Ключевые слова: производственные факторы риска, железнодорожный транспорт, профилактическая медицина, локомотивная бригада, охрана здоровья, шум, вибрация, микроклимат, электромагнитное излучение.

© Логинова В.А., Каськов Ю.Н., Жидкова Е.А., Гуревич К.Г., Смертина Ю.Л., Плетникова О.А., 2020

Логинова Вера Ариевна – заместитель руководителя (e-mail: va-loginova@mail.ru; тел.: 8 (495) 633-27-19; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8852-2898>).

Каськов Юрий Никитович – руководитель (e-mail: kaskov.mps@bk.ru; тел.: 8 (499) 235-25-72; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-2345-6789>).

Жидкова Елена Анатольевна – руководитель; преподаватель (e-mail: genmedc@gmail.com; тел.: 8 (499) 262-56-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6831-9486>).

Гуревич Константин Георгиевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой (e-mail: kgurevich@mail.ru; тел.: 8 (495) 681-88-31; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7603-6064>).

Смертина Юлия Леонидовна – главный врач (e-mail: zamfbuz@mail.ru; тел.: 8 (495) 607-44-63; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4142-4232>).

Плетникова Оксана Александровна – заместитель заведующего отделом организации и статистического обеспечения деятельности, (e-mail: zamfbuz@mail.ru; тел.: 8 (495) 607-44-63; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4471-6070>).

Развитие современной экономики невозможно представить без железных дорог, которые являются одним из крупнейших перевозчиков пассажиров и грузов. Железнодорожный транспорт внес значительный вклад в процветающую экономику многих стран и является одним из наиболее выгодных видов транспорта, используемых независимо от времени года и погодных условий. Одно из самых больших преимуществ – низкая стоимость перевозки. Расходы на грузовые железнодорожные перевозки в среднем снижаются на треть по сравнению с автомобильными перевозками. Железнодорожный транспорт является относительно энергоэффективным видом транспорта [1].

В то же время железнодорожное движение сопряжено с целым рядом производственных факторов риска, из-за чего значительное число рабочих мест машинистов и других сотрудников железных дорог, условия труда которых относятся к третьему (вредному) классу – 3.1 и 3.2 [2]. Среди основных факторов выделяют шум и вибрацию, психоэмоциональные нагрузки у работников локомотивных бригад и лиц диспетчерских профессий, действие промышленных аэрозолей, в основном химического характера, электромагнитные излучения, колебание микроклиматических параметров в кабинах локомотивов и пр.¹ [3].

Перечисленные производственные факторы оказывают влияние не только на лиц, непосредственно работающих на железных дорогах, но и на проживающих в непосредственной близости от них. Поэтому в большинстве стран мира имеются программы по охране здоровья лиц, на которых так или иначе могут воздействовать производственные факторы, связанные с железнодорожным движением. Целью таких программ является снижение профессионально-ассоциированного вреда для организма работников и / или жителей близлежащих территорий. Однако при общности целей имеются страновые различия в подходах как к контролю воздействия железнодорожных производственных факторов риска, так и к профилактике их негативных воздействий.

Цель исследования – сравнительное изучение мирового опыта в регулировании профессионально-ассоциированных производственных воздействий от железных дорог для организма человека. Обзор публикаций по данной тематике представлен

последовательно для разных производственных факторов риска.

Материалы и методы. Проводился несистематический анализ литературы по базам данных *Elibrary*, *Pubmed* и *Cochrane* по заданным ключевым словам на русском или английском языках. Глубина поиска не оговаривалась. Ключевыми словами служили: железные дороги, железнодорожный; а также производственные факторы риска (звук, вибрация, электромагнитные воздействия, микроклимат). Допускалось морфологическое изменение основы слова или использование синонима. Включались только полнотекстовые статьи. Если авторами публиковалось несколько сходных исследований, то учитывалась последняя по времени публикация.

Результаты и их обсуждение. Звук. Основным международным руководящим документом, определяющим рекомендуемую степень звуковых воздействий на работающих, является стандарт ISO 1999:2013 «Acoustics – Estimation of noise-induced hearing loss»², пересмотренный в 2018 г., и потому остающийся актуальным. Он был принят взамен ISO 1999:1990 «Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment»³. Его аналогом в РФ является ГОСТ Р ИСО 1999-2017 «Акустика. Оценка потери слуха вследствие воздействия шума»⁴. В стандарте приводятся статистические связи между воздействием шума и «постоянным смещением порога слышимости, вызванного шумом». Стандарт включает в себя процедуры оценки потери слуха для разных категорий лиц с учетом возраста, в том числе для профессионально обусловленной потери слуха. В литературе обсуждаются вопросы применимости стандарта для объективизации оценки шумовых воздействий в кабине машиниста [4].

При этом следует отметить, что профессионально обусловленная потеря слуха (Occupational noise-induced hearing loss) описана примерно у 37 % работающего взрослого населения в мире. 97 % лиц с данным заболеванием – мужчины. Как правило, заболевание длительно протекает бессимптомно или малосимптомно. Несмотря на имеющиеся исследования, профессиональные ассоциации за рубежом, как правило, мало внимания уделяют защите органа слуха работающих [5]. Например, в США до 10 % возрастных проблем со слухом связывают с шумовым воздействием [6]. Считается, что нейросенсор-

¹ О санитарно-эпидемиологической обстановке на железнодорожном транспорте в 2018 году: Государственный доклад. – М.: Теруправление Роспотребнадзора по железнодорожному транспорту, 2019. – 56 с.

² ISO 1999:2013. Acoustics – Estimation of noise-induced hearing loss [Электронный ресурс] // ISO: International Organization for Standardization. – URL: <https://www.iso.org/home.html> (дата обращения: 09.08.2020).

³ ISO 1999:1990. Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment [Электронный ресурс] // ISO: International Organization for Standardization. – URL: <https://www.iso.org/standard/6759.html> (дата обращения: 09.08.2020).

⁴ ГОСТ Р ИСО 1999-2017. Акустика. Оценка потери слуха вследствие воздействия шума [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200157242> (дата обращения: 09.08.2020).

ная тугоухость – наиболее распространенное профессионально-ассоциированное заболевание работников железнодорожного транспорта, в первую очередь – машинистов и их помощников [7–9]. Доказано, что излишние звуковые воздействия не только приводят к развитию проблем со слухом в дальнейшем, но и существенно повышают вероятность совершения ошибки на рабочем месте. Причем подобные ошибки могут даже приводить к возникновению предаварийных или аварийных ситуаций [10].

В основном шум, вызванный поездами и движением, связан с общим чувством неудовольствия, дискомфорта и раздражения, которые проявляются как у работников железных дорог, так и у проживающих в непосредственной близости от них [11]. Помимо нарушений органа слуха, шумовые воздействия повышают риск сердечно-сосудистых, неврологических заболеваний и заболеваний органов пищеварительного тракта [12, 13]. Под воздействием громкого шума человек не может сосредоточиться, быстро устает и потребляет больше калорий с пищей [14, 15].

Следует отметить, что большое число западных исследований о воздействии шума на здоровье касаются музыкантов, строителей, работников сельского хозяйства [16]. При этом в РФ на долю работающих в системе ОАО «РЖД» приходится порядка 1,0 %, в строительстве – 7,3 %, сельском хозяйстве – 5,8 % занятого населения (на основании данных сайтов rzd.ru и gsk.ru от 09.08.2020 г.).

Компетенция оценки воздействия производственных факторов риска в РФ отнесена к Роспотребнадзору [17]. Существующими нормативными документами в качестве предельно допустимого уровня шума (ПДУ) установлена величина 80 дБА.

Между тем даже в развитых странах шумовые воздействия в кабине машиниста могут достигать 92 дБ, что громче выстрела из ружья (87–89 дБ). Авторы цитируемого исследования рекомендуют использование средств защиты органа слуха для машинистов [18]. В последние годы в развитых странах имеется тенденция к решению проблемы шума в кабине машиниста за счет модернизации локомотивного парка. Используются современные системы подвески, звукоизоляции и т.д. В Западной Европе особое внимание уделяется оценке технического состояния транспортного средства, в том числе его шуму [19]. Поэтому внимание уделяется изучению процессов генерации шума, источникам облучения шума, подавлению и изоляции шума и т.д. [20]. Проведенное в 2013 г. в Норвегии исследование первоначально не выявило более высокой частоты развития потери слуха у машинистов современных поездов по сравнению с лицами других профессий [21]. Однако в дальнейшем авторы пока-

зали, что у работников локомотивных бригад старше 45 лет происходит значимое по сравнению с представителями других видов профессий снижение слуха для частот 3–5 кГц интенсивностью 3–5 дБ [22].

В исследовании, проводившемся в США, отмечено, что уровень шума в кабине машиниста зависит от года выпуска локомотива, его технического состояния, а также типа подвижного состава (электровоз, тепловоз и т.д.) [23]. В Канаде проводились измерения уровня шума в кабине машиниста на разных маршрутах. Показано, что в летнее время средний уровень шума выше (88 дБ) по сравнению с зимним (84 дБ). В 56 % обследованных кабин уровень шума превышал 85 дБ, а в 13 % – 90 дБ [24]. Следует отметить, что в последние годы обсуждается влияние на состояние здоровья работников локомотивных бригад не только звуков высокой интенсивности, но и инфразвуков, роль которых изучать крайне сложно [25]. Кроме того, на развитие заболеваний, ассоциированных с железнодорожным шумом, влияет ландшафт железной дороги. Так, наличие туннелей повышает вероятность ухудшения слуха. Обсуждается возможность влияния шумовых экранов на состояние здоровья машинистов [26].

Нельзя не отметить, что модернизация локомотивного парка проводится и в РФ. Число кабин с неудовлетворительными условиями труда по уровню шума постоянно снижается, однако проблема модернизации парка локомотивов до конца не решена⁵. Кроме того, ОАО «РЖД» эксплуатирует ретро-поезда, локомотивы которых модернизации не подлежат.

Зарубежные авторы склонны рассматривать звуковые воздействия как основной фактор развития заболеваний не только у работников железнодорожного транспорта, но и тех людей, которые живут или работают в непосредственной близости от железнодорожных магистралей [27–31]. Например, в Норвегии выявлено снижение слуха у лиц, занятых непосредственным обслуживанием железнодорожного полотна [32]. Ретроспективное изучение аудиограмм железнодорожных рабочих в США и Европе показало, что 63 % работников регулярно подвергаются звуковым воздействиям 75–90 дБ. У 31 % лиц, подвергающихся подобным шумовым влияниям, в дальнейшем развиваются нарушения слуха в диапазоне 4 кГц. Причем у мужчин такие изменения отмечены чаще, чем у женщин [33].

По нашему мнению, нормативное регулирование звуковых воздействий на работников железнодорожного транспорта нуждается в дальнейшем совершенствовании. В первую очередь, необходимо учитывать длительность воздействия во время работы и периода отдыха. Кроме того, в настоящее время исследования звуковых воздействий проводятся

⁵ Пронников Ю.В. Совершенствование методов виброакустических расчетов и проектирования кабин локомотивов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ростов-на-Дону, 2012. – 18 с.

в стандартизированных условиях. Между тем состояние дорожного полотна, тоннели, сооружения в непосредственной близости от железнодорожных путей и другие факторы могут изменять показатели звуковых воздействий. Поэтому необходима разработка методов оценки звуковых воздействий при маневровом и магистральном движении.

Вибрация. На международном уровне воздействие вибрации на организм человека определяется в соответствии с ISO 2631-1: 1997⁶, аналогом которого служит ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997) «Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека»⁷. Однако современные исследования показывают, что данный стандарт не позволяет в полной мере учитывать общее воздействие вибрации на организм человека, особенно, если вибрация связана с передвижением в пространстве [34].

Нормативно ПДУ вибрации – 112 (Z₀) – 115 (X₀Y₀) дБ. До 12 % кабин локомотивов по сети железных дорог в РФ не соответствуют гигиеническим требованиям по параметрам вибрации. При этом превышения ПДУ в два раза составляют до 87 % случаев, в 2–3 раза – до 30 % случаев [35]. Исходя из уровня шума и вибрации, условия труда на большинстве рабочих мест машинистов соответствуют подклассам 3.1 и 3.2 [36].

Между тем практически отсутствуют современные исследования уровня вибрации в кабине машиниста в развитых странах. Считается, что степень вибрационного воздействия машиниста можно уменьшить за счет конструкции кресла со специально разработанной эргономикой и вибропоглощающими элементами [37]. Однако небольшое сравнительное исследование не выявило значимого влияния технической модернизации на субъективное восприятие вибрационных воздействий на организм работника [38]. В то же время показано, что неоптимальная эргономика рабочего места не только увеличивает риск развития вибрационной болезни, но и приводит к повышению частоты жалоб машинистов на боли в области шеи, поясницы и т.д. [39]. Чрезмерная вибрация также может приводить к ухудшению состояния здоровья в целом [40].

Однако уровень вибрации в кабине машиниста зависит не только от ее конструкции, но и от состояния железнодорожного полотна и скорости движения локомотивов (измерения в одном и том же локомотиве при разных режимах движения могут привести к разным результатам). Доказано, что при скорости более 70 км/ч большинство технических средств поглощения вибрации не полностью справ-

ляются со своей задачей [41]. Кроме того, вибрация в кабине машиниста может зависеть от длины подвижного состава, его массы и других внешних факторов [42, 43]. Вибрационное воздействие также изменяется в зависимости от позы работника локомотивной бригады (сидячая, стоячая) [44].

Имеются сообщения о том, что длительное воздействие вибрации на организм машиниста, даже в пределах ПДУ, может приводить к развитию профессионально-ассоциированного дефицита витамина D, тестостерона [45, 46]. Подобные гормональные нарушения могут быть дополнительным фактором риска развития или более быстрого прогрессирования сердечно-сосудистых заболеваний у работников локомотивных бригад [47]. В последние годы стали появляться сообщения о влиянии вибрации на сократительную способность миокарда вне зависимости от наличия или отсутствия других факторов риска. Эти эффекты могут быть опосредованы через автономную нервную систему [47]. В лабораторных условиях моделирование вибрации в кабине машиниста сопровождалось активацией симпатической нервной системы, при которой появлялось чувство сонливости [48].

Выявлен повышенный риск развития болей в пояснице, шее и колене у лиц, осуществляющих обслуживание железнодорожных путей. Причем данный риск связан со степенью вибрации, создаваемой передвигающимися составами [49]. Обсуждается возможность влияния вибрации на состояние здоровья пассажиров [50].

Кроме того, вибрация, создаваемая движением поездов, может влиять на точность работы сейсмологической станции, устойчивость прилегающих капитальных строений [51, 52].

Необходимо отметить, что нормативное регулирование вибрационных воздействий на организм машиниста как в нашей стране, так и за рубежом предполагает использование стандартизированных условий. Как следует из приведенных выше данных, в реальных условиях эксплуатации локомотивов могут быть получены иные результаты. Кроме того, большое значение имеет длительность воздействия вибрации, даже если ее значения не выходят за пределы ПДУ. Этот факт также следует учитывать в дальнейших исследованиях и при разработке последующих нормативов.

Электромагнитные воздействия. Нормирование безопасных электромагнитных воздействий для организма человека существенным образом различается между странами. В РФ электромагнитное излучение от железных дорог регламентируется требованиями СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-

⁶ ISO 2631-1:1997. Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements [Электронный ресурс] // ISO: International Organization for Standardization. — URL: <https://www.iso.org/ru/standard/7612.html> (дата обращения: 09.08.2020).

⁷ ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997). Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200060904> (дата обращения: 09.08.2020).

эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»⁸, СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»⁹, СНиП 2971-84 «Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты»¹⁰ и ГОСТ 12.1.045-84 «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»¹¹. Кроме того, необходимо учитывать страновую разницу в характеристиках тока, используемого для электрификации железных дорог. Так, на территории РФ применяется постоянный ток 3000 В и переменный ток 25 кВ 50 Гц и 25кВ·2 50 Гц, в Европе – постоянный ток 1500 В, переменный ток 15 кВ 16²/₃ Гц, в США – переменный ток 11 кВ 25 Гц. На отдельных участках (например в карьерах) характеристики тока могут отличаться. Специальная система электроснабжения существует внутри депо. Все это затрудняет сравнительные исследования влияния электромагнитного излучения на организм машиниста. Кроме того, следует полагать, что степень воздействия зависит от типа локомотива.

В РФ на всех обследованных рабочих местах машинистов напряженность электромагнитного поля по электрической и магнитной составляющим была ниже ПДУ. Однако старые локомотивы (выпуска до 2008 г.) характеризуются большей напряженностью электромагнитного поля, чем современные модели. Следует отметить, что на электрифицированных участках железных дорог выявлены более высокие значения напряженности электромагнитного поля [53]. Модернизация локомотивов в РФ позволяет снизить уровень электромагнитного поля в кабине машиниста [54]. Подобные технические решения применяются и за рубежом [55]. Однако существующие ПДУ по электромагнитным излучениям не учитывают факта его кумулятивного воздействия. Поэтому вопрос о степени влияния длительного воздействия электромагнитного поля на состояние здоровья, даже если его параметры

оказываются в пределах существующих нормативов, остается открытым [56].

В литературе мы нашли только одно сообщение, в котором авторы утверждают, что электромагнитные воздействия повышают риск развития нарушений сердечного ритма и внезапной сердечной смерти [57]. Однако данное исследование не является многоцентровым, поэтому его результаты вызывают сомнения. Кроме того, по нашим собственным данным, тип локомотива (электровоз или тепловоз) не влияет на риск внезапной сердечной смерти машиниста или помощника машиниста [58]. Также есть публикации о негативном влиянии переменного тока на иммунную систему машинистов [59].

Обсуждается вопрос влияния электромагнитных полей на пассажиров поездов, работников железнодорожного пути, жителей близлежащих домов [60, 61]. Проведенное в Швеции 31-летнее исследование показало, что электромагнитные воздействия, создаваемые железными дорогами, могут обладать кумулятивным эффектом, повышая вероятность развития болезни Альцгеймера, миелоидного лейкоза и Ходжкинской лимфомы как у машинистов, так у рабочих железнодорожного пути [62, 63]. Выявлено, что система электрификации железных дорог может оказывать влияние на работу электрических приборов, находящихся вблизи, в частности, на электрокардиографы [64].

По нашему мнению, вопросы безопасности электромагнитных воздействий на организм машинистов изучены недостаточно. Из-за разницы характеристик токов, используемых для электрификации железных дорог в РФ и за рубежом, непонятно, в какой степени зарубежный опыт регулирования может быть использован в нашей стране. Открытым остается вопрос кумулятивного воздействия электромагнитного поля. Вероятно, нормы суммарного воздействия предстоит разработать в будущем.

Микроклимат кабины. Химические факторы. На международном уровне микроклимат кабины машиниста описывается ISO 19659-1:2017¹² и ISO 19659-2:2020 «Heating, ventilation and air condi-

⁸ СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/420362948> (дата обращения: 09.08.2020).

⁹ СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901853847> (дата обращения: 09.08.2020).

¹⁰ СНиП 2971-84. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200214> (дата обращения: 09.08.2020).

¹¹ ГОСТ 12.1.045-84. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/9051575> (дата обращения: 09.08.2020).

¹² ISO 19659-1:2017. Railway applications – Heating, ventilation and air conditioning systems for rolling stock – Part 1: Terms and definitions [Электронный ресурс] // ISO: International Organization for Standardization. – URL: <https://www.iso.org/standard/65762.html> (дата обращения: 09.08.2020).

tioning systems for rolling stock»¹³ («Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха для подвижного состава»). Частично эти нормативы нашли свое отражение в ГОСТ 33463.1-2015 «Системы жизнеобеспечения на железнодорожном подвижном составе»¹⁴. Современная конструкция кабин машинистов максимально рассчитана на профилактику воздействия температурного фактора [65]. Проведенные исследования микроклимата кабин локомотивов в РФ не выявили отклонений от существующих стандартов. Однако при этом большинство опрошенных работников локомотивных бригад жалуются на некомфортные по температуре условия в кабине машиниста [66]. Как нам кажется, эти жалобы в большей мере несут субъективный характер. При этом следует иметь в виду, что воздействие чрезмерно низких или чрезмерно высоких температур окружающего воздуха может приводить к уменьшению работоспособности, повышению вероятности совершения ошибки, ухудшению состояния здоровья работников локомотивных бригад с их последующей медицинской реабилитацией [67].

Плохо поддающимся учету фактором микроклимата является зрительная нагрузка: мелькание шпал и объектов инфраструктуры железнодорожной линии, свет от семафоров, фонарей и т.д., смена времени суток в пути, движение по туннелям и др. Например, доказано, что яркий солнечный свет, въезд / выезд из туннелей создает дополнительную зрительную нагрузку [68]. Была выявлена повышенная функциональная утомляемость органа зрения у работников локомотивных бригад, мало зависящая от вида осуществляемого движения [69]. Поэтому предлагается использовать методики профилактики заболевания органа зрения у лиц, непосредственно связанных с движением поездов [70].

Современные локомотивы оборудованы системами очистки воздуха. Поэтому, согласно проведенным лабораторным исследованиям за 2012–2016 гг., на рабочих местах машинистов отмечено снижение числа проб с превышением предельно допустимых концентраций (ПДК). Однако полноценно очистить воздух удается не от всех веществ, поступающих из внешней среды. Наиболее значимыми загрязнителями воздуха остаются: оксиды азота, соединения серы, оксиды углерода, углеводороды, а также сажа [71, 72]. Наиболее остро проблема загрязнения воздуха касается замкнутых в пространстве перегонов, например туннелей [73]. Однако суммарные изме-

рения основных загрязнителей показали малую вероятность их влияния на здоровье пассажиров, работников железнодорожного транспорта и машинистов. Это связано с невысокими концентрациями поллютантов, даже в туннелях [74].

Следует отметить, что отечественными нормативными документами в большей степени, чем за рубежом, регламентируются параметры микроклимата кабины машиниста и в меньшей степени – микроклимата вагонов. Исследований по влиянию микроклимата на здоровье работников вагонных бригад найти не удалось. Возможно, дальнейшие работы в этой сфере позволят разработать новые подходы к нормированию параметров микроклимата.

Заключение. Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании»¹⁵ внес существенные изменения в законодательную базу, регламентирующую санитарно-эпидемиологические аспекты безопасности железнодорожного движения [75]. В большинстве своем отечественные нормативно-правовые акты приведены в соответствие с международной практикой. В целом следует отметить гораздо большее внимание отечественных авторов к изучению производственных факторов риска и их влиянию на организм человека, тогда как за рубежом преобладают попытки решить проблему за счет различных технических инноваций.

Остается целый ряд нерешенных вопросов, которые необходимо изучать для дальнейшего развития системы регулирования:

1. Измерение большинства производственных факторов риска проводится в стандартизированных условиях. Необходимы методики их измерения с учетом повседневных особенностей эксплуатации поездов.
2. Воздействие производственных факторов риска ограничивается абсолютными величинами. При этом не учитывается возможное накопление суммарного воздействия производственного фактора. При наличии суммарного воздействия фактора не учитывается и не нормируется межсменный период, то есть то время, когда воздействие отсутствует.
3. Не учитывается возможное влияние на состояние здоровья подпороговых значений производственных факторов риска. Вероятнее всего, оно связано с суммарным накоплением воздействия.
4. Нужна дальнейшая стандартизация воздействия производственных факторов риска, для кото-

¹³ ISO 19659-2:2020. Railway applications – Heating, ventilation and air conditioning systems for rolling stock – Part 2: Thermal comfort [Электронный ресурс] // ISO: International Organization for Standardization. – URL: <https://www.iso.org/ru/standard/70232.html> (дата обращения: 09.08.2020).

¹⁴ ГОСТ 33463.1-2015. Системы жизнеобеспечения на железнодорожном подвижном составе [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200133110> (дата обращения: 09.08.2020).

¹⁵ О техническом регулировании: Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901836556> (дата обращения: 09.08.2020).

рых эти методы не разработаны (например зрительная нагрузка).

Мы надеемся, что дальнейшее развитие законодательной базы в сфере регулирования воздействия производственных факторов риска на работников железнодорожного транспорта позволит улучшить их показатели здоровья и будет способствовать продлению их

активного трудового долголетия за счет профилактики производственно обусловленных заболеваний.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Plakhotnik V.N., Lakhnova J.V. Interaction of railway objects with the environment // *Environmental Economics*. – 2002. – № 4. – P. 163–169.
2. Ключкова Е.А. Охрана труда на железнодорожном транспорте. – М.: Маршрут, 2004. – 412 с.
3. Самарская Н.А. Анализ особенностей труда и разработка мероприятий по обеспечению безопасности работников метрополитена // *Экономика труда*. – 2019. – Т. 6, № 3. – С. 1271–1284.
4. Титова Т.С., Копытенькова О.И., Курепин Д.Е. Об объективной оценке акустического воздействия // *Железнодорожный транспорт*. – 2017. – № 5. – С. 75–77.
5. Kurmis A.P., Apps S.A. Occupationally-acquired noise-induced hearing loss: a senseless workplace hazard // *Int J. Occup. Med. Environ. Health*. – 2007. – Vol. 20, № 2. – P. 127–136. DOI: 10.2478/v10001-007-0016-2
6. Dobie R.A. The burdens of age-related and occupational noise-induced hearing loss in the United States // *Ear Hear*. – 2008. – Vol. 29, № 4. – P. 565–577. DOI: 10.1097/AUD.0b013e31817349ec
7. Марушкина Г.И., Миронова Е.А., Плохов В.Н. Оценка клинической и фармакоэкономической эффективности препаратов нейромедиаторных аминокислот и ингибиторов холинэстеразы в лечении хронической сенсоневральной тугоухости у работников железнодорожного транспорта // *Вестник оториноларингологии: материалы XI Российского конгресса оториноларингологов*. – 2012. – № 5. – С. 100–102.
8. Панкова В.Б., Капцов В.А., Каськов Ю.Н. Гигиеническое обоснование риска развития профессиональной тугоухости у работников локомотивных бригад // *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*. – 2006. – № 3. – С. 38–41.
9. Вильк М.Ф., Панкова В.Б., Капцов В.А. Транспортный шум как фактор риска профессиональной тугоухости (на примере авиационного и железнодорожного транспорта) // *Медицина труда и промышленная экология*. – 2017. – № 9. – С. 36–37.
10. Multiple work-related accidents: tracing the role of hearing status and noise exposure / S.A. Girard, M. Picard, A.C. Davis, M. Simard, R. Larocque, T. Leroux, F. Turcotte // *Occup. Environ. Med.* – 2009. – Vol. 66, № 5. – P. 319–324. DOI: 10.1136/oem.2007.037713
11. Nunes P.A.L.D., Travisi C.M. Rail noise-abatement programmes: a stated choice experiment to evaluate the impacts on welfare // *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*. – 2007. – Vol. 27, № 5. – P. 589–604. DOI: 10.1080/01441640701322693
12. Arezes P.A., Miguel A.S. Hearing protection use in industry: the role of risk perception // *Safety Science*. – 2005. – Vol. 43, № 4. – P. 253–267. DOI: 10.1093/annhyg/mef067
13. Virokannas H., Anttonen H., Niskanen J. Health risk assessment of noise, hand-arm vibration and cold in railway track maintenance // *International Journal of Industrial Ergonomics*. – 1994. – Vol. 13, № 3. – P. 247–252. DOI: 10.1016/0169-8141(94)90071-X
14. Ustinaviciene R., Piesine L. Morbidity of textile industry workers in Kaunas // *Medicina*. – 2007. – Vol. 43, № 6. – P. 495–500.
15. Ustinaviciene R., Obelenis V., Ereminas D. Occupational health problems in modern work environment // *Medicina*. – 2004. – Vol. 40, № 9. – P. 897–904.
16. Sliwinska-Kowalska M., Davis A. Noise-induced hearing loss // *Noise Health*. – 2012. – Vol. 14, № 61. – P. 274–280. DOI: 10.4103/1463-1741.104893
17. Каськов Ю.Н. Деятельность управления Роспотребнадзора по железнодорожному транспорту // *Железнодорожный транспорт*. – 2019. – № 4. – С. 43–47.
18. Kryter K.D. Hearing loss from gun and railroad noise--relations with ISO standard // *J. Acoust. Soc. Am.* – 1991. – Vol. 6, № 90. – P. 3180–3195. DOI: 10.1121/1.401427.1999
19. Joynt J., Kang J. The influence of preconceptions on perceived sound reduction by environmental noise barriers // *Science of the Total Environment*. – 2010. – Vol. 408, № 20. – P. 4368–4375. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.04.020
20. Nekrasiene R., Kucinskiene J. Formation of green areas of the Klaipėda city // *Urban green formation. Scienc eJobs*. – 2011. – Vol. 1, № 8. – P. 147–154.
21. Hearing status among Norwegian train drivers and train conductors / A. Lie, M. Skogstad, T.S. Johnsen, B. Engdahl, K. Tambs // *Occup. Med. (Lond)*. – 2013. – Vol. 63, № 8. – P. 544–548. DOI: 10.1093/occmed/kqt114
22. A cross-sectional study of hearing thresholds among 4627 Norwegian train and track maintenance workers / A. Lie, M. Skogstad, T.S. Johnsen, B. Engdahl, K. Tambs // *BMJ Open*. – 2014. – Vol. 16, № 4 (10). – P. e005529. DOI: 10.1136/bmjopen-2014-005529
23. Rotter T. The noise factor in railway locomotives // *Applied Ergonomics*. – 1982. – Vol. 13, № 3. – P. 213–215. DOI: 10.1016/0003-6870(82)90014-x
24. Seshagiri B. Exposure to noise on board locomotives // *AIHA J. (Fairfax, Va)*. – 2003. – Vol. 5, № 64. – P. 699–707. DOI: 10.1202/532.1.1
25. The Study on Vibroacoustic Characteristics of Shunting Locomotive Cabin / A.A. Igolkin, A.N. Kryuchkov, G.V. Lazutkin, K.M. Afanasev // *Procedia Engineering*. – 2017. – № 176. – P. 724–731. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.320

26. Tunnel driving occupational environment and hearing loss in train drivers in China / Y. Peng, C. Fan, L. Hu, S. Peng, P. Xie, F. Wu, S. Yi // *Occup. Environ. Med.* – 2019. – Vol. 2, № 76. – P. 97–104. DOI: 10.1136/oemed-2018-105269
27. Annoyance to different noise sources is associated with atrial fibrillation in the Gutenberg Health Study / O. Hahad, M. Beutel, T. Gori, A. Schulz, M. Blettner, N. Pfeiffer, T. Rostock [et al.] // *Int J. Cardiol.* – 2018. – Vol. 1, № 264. – P. 79–84. DOI: 10.1016/j.ijcard.2018.03.126
28. Development of the WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: An Introduction / D. Jarosińska, M.È. Héroux, P. Wilkhu, J. Creswick, J. Verbeek, J. Wothge, E. Paunović // *Int J. Environ. Res. Public. Health.* – 2018. – Vol. 20, № 15 (4). – P. E813. DOI: 10.3390/ijerph15040813
29. Clark C., Paunovic K. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cognition // *Int J. Environ. Res. Public. Health.* – 2018. – Vol. 7, № 15 (2). – P. E285. DOI: 10.3390/ijerph15020285
30. Guski R., Schreckenber D., Schuemer R. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance // *Int J. Environ. Res. Public. Health.* – 2017. – Vol. 8, № 14 (12). – P. E1539. DOI: 10.3390/ijerph14121539
31. Effects of urban rail noise level in a residential area / R. Grubliauskas, B. Struksinskiene, J. Raistenskis, V. Struksinskaite, R. Buckus, T. Janusevicius // *Journal of Vibroengineering.* – 2014. – Vol. 16, № 2. – P. 987–996.
32. Noise-induced hearing loss in a longitudinal study of Norwegian railway workers / A. Lie, M. Skogstad, T.S. Johnsen, B. Engdahl, K. Tambs // *BMJ Open.* – 2016. – Vol. 2, № 6 (9). – P. e011923. DOI: 10.1136/bmjopen-2016-011923
33. The prevalence of notched audiograms in a cross-sectional study of 12,055 railway workers / A. Lie, M. Skogstad, T.S. Johnsen, B. Engdahl, K. Tambs // *Ear. Hear.* – 2015. – Vol. 36, № 3. – P. e86–e92. DOI: 10.1097/AUD.0000000000000129
34. Riesco E., Munoz-Guijosa J.M. An enhanced whole-body vibration emission index for railway vehicles // *Ergonomics.* – 2020. – № 11. – P. 1–11. DOI: 10.1080/00140139.2020.1776899
35. Самарская Н.А., Ильин С.М. Обеспечение безопасных условий и защита здоровья работников железнодорожного транспорта // *Экономика труда.* – 2018. – Т. 5, № 4. – С. 1329–1345.
36. Ищенко В.И. Улучшение условий и охраны труда на железнодорожном транспорте // *Путь и путевое хозяйство.* – 2005. – № 5. – С. 31–34.
37. Modelling and simulation of locomotive driver's seat vertical suspension vibration isolation system / G.J. Steina, P. Múčka, T.P. Gunstonb, S. Badurac // *International Journal of Industrial Ergonomics.* – 2008. – Vol. 38, № 5–6. – P. 384–395. DOI: 10.1016/j.ergon.2007.08.007
38. Tiemessen I.J.H., Hulshof C.T.J., Frings-Dresen M.H.W. Effectiveness of an occupational health intervention program to reduce whole body vibration exposure: an evaluation study with a controlled pretest-post-test design // *Am. J. Ind. Med.* – 2009. – Vol. 52, № 12. – P. 943–952. DOI: 10.1002/ajim.20769
39. Whole-body vibration and ergonomic study of US railroad locomotives / E. Johannning, P. Landsbergis, S. Fischer, E. Christ, B. Göres, R. Lührman // *Journal of Sound and Vibration.* – 2006. – Vol. 298, № 3. – P. 594–600. DOI: 10.1016/j.jsv.2006.06.030
40. Cooperrider N.K., Gordon J.J. Shock and impact levels on North American locomotives // *Journal of Sound and Vibration.* – 2008. – Vol. 318, № 4–5. – P. 809–819. DOI: 10.1016/j.jsv.2008.04.042
41. Колесников И.В., Пронников Ю.В. Экспериментальные исследования шума и вибрации в кабинах локомотивов // *Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения.* – 2011. – № 3 (43). – С. 153–156.
42. Occupational health hazards resulting from elevated work rate situations / H. Ohara, S. Nakagiri, T. Itani, K. Wake, H. Aoyama // *J. Hum. Ergol. (Tokyo).* – 1976. – Vol. 5, № 2. – P. 173–182.
43. Орлова Н.В., Старокожева А.Я. Факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний среди машинистов локомотивов железнодорожного транспорта // *Медицинский алфавит.* – 2020. – № 2. – С. 37–40. DOI: 10.33667/2078-5631-2020-2-37-40
44. Birlik G. Occupational exposure to whole body vibration-train drivers. // *Ind Health.* – 2009. – Vol. 47, № 1. – P. 5–10. DOI: 10.2486/indhealth.47.5
45. Изучение дефицита витамина D у машинистов железнодорожного транспорта / Н.В. Орлова, В.И. Подзолков, А.Я. Старокожева, Н.М. Долдо, Е.В. Миронова // *Клиническая лабораторная диагностика.* – 2020. – Т. 65, № 3. – С. 163–168.
46. Зависимость уровня тестостерона от профессиональных факторов (на примере машинистов локомотива) / Е.А. Финагина, О.В. Теодорович, А.З. Цфасман, М.Н. Шатохин, С.Ю. Шеховцов // *Вестник новых медицинских технологий.* – 2017. – Т. 24, № 3. – С. 151–155.
47. Autonomic Nervous System Responses to Whole-Body / H. Jalilian, Z. Zamanian, O. Gorjizadeh, Z. Riaei, M.R. Monazzam, M. Abdoli-Eramaki // *Int J. Occup. Environ. Med.* – 2019. – Vol. 10, № 4. – P. 174–184. DOI: 10.15171/ijom.2019.1688
48. The effects of physical vibration on heart rate variability as a measure of drowsiness / N. Zhang, M. Fard, M.H.U. Bhuiyan, D. Verhagen, M.F. Azari, S.R. Robinson // *Ergonomics.* – 2018. – Vol. 61, № 9. – P. 1259–1272. DOI: 10.1080/00140139.2018.1482373
49. Occupational risk factors for musculoskeletal disorders among railroad maintenance-of-way workers / P. Landsbergis, E. Johannning, M. Stillo, R. Jain, M. Davis // *Am. J. Ind. Med.* – 2020. – Vol. 63, № 5. – P. 402–416. DOI: 10.1002/ajim.23099
50. Exposure-response relationships for annoyance due to freight and passenger railway vibration exposure in residential environments / C. Sharp, J. Woodcock, G. Sica, E. Peris, A.T. Moorhouse, D.C. Waddington // *J. Acoust. Soc. Am.* – 2014. – Vol. 135, № 1. – P. 205–212. DOI: 10.1121/1.4836115
51. Effects of Railway Elevation, Operation of a New Station, and Earthquakes on Railway Noise Annoyance in Kumamoto, Japan / Y. Murakami, T. Yano, M. Morinaga, S. Yokoshima // *Int J. Environ. Res. Public. Health.* – 2018. – Vol. 5, № 15 (7). – P. 1417. DOI: 10.3390/ijerph15071417
52. Railway noise annoyance and the importance of number of trains, ground vibration, and building situational factors / A. Gidlöf-Gunnarsson, M. Ögren, T. Jerson, E. Öhrström // *Noise Health.* – 2012. – Vol. 4, № 59. – P. 190–201. DOI: 10.4103/1463-1741.99895

53. Анализ результатов аттестации рабочих мест АО «Локомотив» по условиям труда / М.Д. Зальцман, С.Г. Цыганков, А.Д. Товасаров, Р.Т. Конырбаев, А.Б. Акберлиев // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2015. – Т. 92, № 1. – С. 10–17.
54. Кабанцев А.А. Некоторые изменения в конструкции электровозов 2ЭС5К «ЕРМАК» // Локомотив. – 2017. – Т. 721, № 1. – С. 30–31.
55. Compliance boundaries for train protection systems / S. Aerts, L. Verloock, L. Martens, W. Joseph // RadiatProt Dosimetry. – 2014. – Vol. 158, № 1. – P. 68–72. DOI: 10.1093/rpd/nct183
56. Климченко Л.Н., Черкасова Т.С., Чубарь Е.П. Прогнозирование неблагоприятного электромагнитного влияния на объектах железнодорожного транспорта // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2001. – Т. 5, № 1. – С. 126–129.
57. Magnetic field exposure and arrhythmic risk: evaluation in railway drivers / L. Santangelo, M. Di Grazia, F. Liotti, E. De Maria, R. Calabró, N. Sannolo // Int Arch. Occup. Environ. Health. – 2005. – Vol. 78, № 4. – P. 337–341. DOI: 10.1007/s00420-004-0541-2
58. Результаты анализа причин внезапной смерти среди работников локомотивных бригад / Е.А. Жидкова, Н.Б. Найговзина, М.Р. Калинин, Е.М. Гудор, К.Г. Гуревич // Кардиология. – 2019. – № 6. – С. 42–47.
59. Influence of electric traction extremely low frequency electromagnetic field on immune function of train drivers / Y.M. Liu, H.L. Sun, Y. Luo, Z.L. Dong, W.S.Z. Ye // Bing Za Zhi. – 2008. – Vol. 26, № 11. – P. 659–660.
60. Impact of a small cell on the RF-EMF exposure in a train / S. Aerts, D. Plets, A. Thielens, L. Martens, W. Joseph // Int J. Environ. Res. Public. Health. – 2015. – Vol. 27, № 12 (3). – P. 2639–2652. DOI: 10.3390/ijerph120302639
61. Exposure to electromagnetic fields aboard high-speed electric multiple unit trains / D. Niu, F. Zhu, R. Qiu, Q. Niu // J. Biol. Regul. Homeost. Agents. – 2016. – Vol. 30, № 3. – P. 727–731.
62. Mortality from neurodegenerative disease and exposure to extremely low-frequency magnetic fields: 31 years of observations on Swiss railway employees / M. Rössli, M. Lörtscher, M. Egger, D. Pfluger, N. Schreier, E. Lörtscher, P. Locher, A. Spoerri, C. Minder // Neuroepidemiology. – 2007. – Vol. 28, № 4. – P. 197–206. DOI: 10.1159/000108111
63. Leukaemia, brain tumours and exposure to extremely low frequency magnetic fields: cohort study of Swiss railway employees / M. Rössli, M. Lörtscher, M. Egger, D. Pfluger, N. Schreier, E. Lörtscher, P. Locher, A. Spoerri, C. Minder // Occup Environ Med. – 2007. – Vol. 64, № 8. – P. 553–559. DOI: 10.1136/oem.2006.030270
64. Interference of 16.7-Hz electromagnetic fields on measured electrocardiogram / C.J. Schlimp, M. Breiteneder, J. Seifert, W. Lederer // Bioelectromagnetics. – 2007. – Vol. 28, № 5. – P. 402–405. DOI: 10.1002/bem.20319
65. Худоногов А.М., Волосатов С.Н. К концепции проектирования систем микроклимата в кабине управления локомотивом // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2013. – № 2. – С. 352–357.
66. Социально-психологические и организационные факторы, влияющие на профессиональную деятельность работников локомотивных бригад / В.В. Сериков, Е.А. Жидкова, В.Я. Колягин, А.А. Закревская, В.Е. Богданова // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 7. – С. 17–21.
67. Дубилей Г.С., Заикина Н.В. Профессиональная реабилитация работников локомотивных бригад // CardioComa. – 2013. – № S1. – С. 29.
68. Современные тенденции офтальмологической заболеваемости и состояния зрительного здоровья работников железнодорожного транспорта, обеспечивающих безопасность движения поездов / И.Н. Бянкина, И.Е. Панова, Е.С. Леонова, О.А. Павленко // Пермский медицинский журнал. – 2009. – Т. 26, № 6. – С. 127–131.
69. Результаты углубленного клинико-физиологического обследования органа зрения машинистов локомотивов / Е.С. Леонова, И.Н. Бянкина, Е.В. Щёкотов, Е.А. Карауловская // Медицина труда и промышленная экология. – 2011. – № 1. – С. 38–42.
70. Леонова Е.С. Медико-социальная и экономическая эффективность профилактики нарушений зрения у машинистов локомотивов // Здоровье и образование в XXI веке: сборник научных тезисов и статей. – 2011. – Т. 13, № 3. – С. 318–319.
71. Актуальные вопросы обеспечения санитарно-эпидемиологической безопасности пассажирских грузовых перевозок железнодорожным транспортом России / Г.А. Фархатдинов, Ю.Н. Каськов, Ю.И. Подкорытов, О.А. Свитенко // Дезинфекция. Антисептика. – 2014. – Т. 5, № 2. – С. 28–32.
72. Каськов Ю.Н., Подкорытов Ю.И. К современному состоянию химического загрязнения окружающей среды на объектах железнодорожного транспорта России // Медицина труда и экология человека. – 2016. – № 4. – С. 91–97.
73. Factors affecting the exposure of passengers, service staff and train drivers inside trains to airborne particles / Y. Cha, M. Tu, M. Elmgren, S. Silvergren, U. Olofsson // Environ Res. – 2018. – № 166. – P. 16–24. DOI: 10.1016/j.envres.2018.05.026
74. The London Underground: dust and hazards to health / A. Seaton, J. Cherrie, M. Dennekamp, K. Donaldson, J.F. Hurley, C.L. Tran // Occup. Environ. Med. – 2005. – Vol. 62, № 6. – P. 355–362. DOI: 10.1136/oem.2004.014332
75. Лексин А.Г. Санитарно-эпидемиологическая безопасность и техническое регулирование на железнодорожном транспорте // Медицина труда и промышленная экология. – 2009. – № 7. – С. 17–21.

Регулирование профессионально-ассоциированных производственных воздействий на работников железнодорожного транспорта: опыт России и других стран / В.А. Логинова, Ю.Н. Каськов, Е.А. Жидкова, К.Г. Гуревич, Ю.Л. Смертина, О.А. Плетникова // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 173–185. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.18



Review

REGULATION OF WORK-RELATED AND OCCUPATIONAL IMPACTS ON WORKERS EMPLOYED AT RAILROADS: EXPERIENCE GAINED IN RUSSIA AND OTHER COUNTRIES

**V.A. Loginova¹, Yu.N. Kas'kov¹, E.A. Zhidkova^{2,3}, K.G. Gurevich³,
Yu.L. Smertina⁴, O.A. Pletnikova⁴**

¹Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Railway transport office, 17 Dubininskaya Str., Moscow, 115054, Russian Federation

²The Central Healthcare Office, a brunch of «Russian Railways» JSC, 52a Malaya Gruzinskaya Str., Moscow, 123557, Russian Federation

³A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, 20/1 Delegatskaya Str., Moscow, 127473, Russian Federation

⁴Center for Hygiene and Epidemiology at railway transport, 2 the 1st Basmanniy lane, Moscow, 105066, Russian Federation

The present research is vital as it will allow increasing safety of working conditions for workers employed at railway transport due to reducing impacts exerted by occupational risk factors.

Our research goal was to perform comparative analysis of requirements to labor protection provided for railway workers.

Our research was performed via non-systemic analysis of literature that involved searching through Elibrary, Pubmed and Cochrane databases as per certain key words.

As a result, we showed that railway traffic involved exposure to numerous occupational risk factors; due to it, a significant number of workplaces, including those of enginemen and other railway workers, belonged to the 3rd (adverse) hazard category. Basic occupational risk factors included noise and vibration; psychoemotional loads borne by engine team workers and traffic controllers; exposure to industrial aerosols; electromagnetic irradiation; fluctuations in microclimatic parameters in engines' cabs. All these occupational factors influence not only workers who are directly employed at railways but also people who live in close proximity to them. Therefore, in most countries there is legislative basis on health protection for people who may be exposed to occupational factors related to railway traffic. Our analysis revealed that in general the existing legislation in Russia corresponded to foreign one. Bases for harmonization of the domestic legislation with foreign one are fixed by the Federal Law issued on December 27, 2002 No. 184-FZ "On technical regulation".

Harmonization of domestic and foreign legislation on reducing total exposure to occupational risk factors allows preserving long-term working ability and preventing work-related diseases.

Key words: occupational risk factors, railway transport, preventive medicine, engine team, health protection, noise, vibration, microclimate, electromagnetic irradiation.

References

1. Plakhotnik V.N., Lakhnova J.V. Interaction of railway objects with the environment. *Environmental Economics*, 2002, no. 4, pp. 163–169.
2. Klochova E.A. Okhrana truda na zhelezнодорожном транспорте [Labor protection provided for railway workers]. Moscow, Marshrut Publ., 2004, 412 p. (in Russian).

© Loginova V.A., Kas'kov Yu.N., Zhidkova E.A., Gurevich K.G., Smertina Yu.L., Pletnikova O.A., 2021

Vera A. Loginova – Deputy supervisor (e-mail: va-loginova@mail.ru; tel.: +7 (495) 633-27-19; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8852-2898>).

Yurii N. Kas'kov – Supervisor (e-mail: kaskov.mps@bk.ru; tel.: +7 (499) 235-25-72; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-2345-6789>).

Elena A. Zhidkova – Supervisor, lecturer (e-mail: genmedc@gmail.com; tel.: +7 (499) 262-56-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6831-9486>).

Konstantin G. Gurevich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department (e-mail: kgurevich@mail.ru; tel.: +7 (495) 681-88-31; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7603-6064>).

Yuliya L. Smertina – Chief physician (e-mail: zamfbuz@mail.ru; tel.: +7 (495) 607-44-63; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4142-4232>).

Oksana A. Pletnikova – Deputy to the Head of the Department for Operational Organization and Statistic Provision (e-mail: zamfbuz@mail.ru; tel.: +7 (495) 607-44-63; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4471-6070>).

3. Samarskaya N.A. Analysis of the working conditions peculiarities and development of measures to ensure the metro workers safety. *Ekonomika truda*, 2019, vol. 6, no. 3, pp. 1271–1284 (in Russian).
4. Titova T.S., Kopytenkova O.I., Kurepin D.E. Acoustic impact assessment. *Zheleznodorozhnyi transport*, 2017, no. 5, pp. 75–77 (in Russian).
5. Kurmis A.P., Apps S.A. Occupationally-acquired noise-induced hearing loss: a senseless workplace hazard. *Int J. Occup. Med. Environ. Health*, 2007, vol. 20, no. 2, pp. 127–136. DOI: 10.2478/v10001-007-0016-2
6. Dobie R.A. The burdens of age-related and occupational noise-induced hearing loss in the United States. *Ear. Hear.*, 2008, vol. 29, no. 4, pp. 565–577. DOI: 10.1097/AUD.0b013e31817349ec
7. Marushkina G.I., Mironova E.A., Plokhov V.N. Otsenka klinicheskoi i farmakoekonomicheskoi effektivnosti preparatov neiromediatornykh aminokislot i inhibitorov kholinesterazy v lechenii khronicheskoi sensonevral'noi tugoukhosti u rabotnikov zheleznodorozhnogo transporta [Assessing clinical and pharmaceutical-economic efficiency of neuromediator amino acids mediators and choline esterase inhibitors in treating chronic sensorineural hearing loss among railway workers. *Vestnik otorinolaringologii: materialy XI Rossiiskogo kongressa otorinolaringologov*, 2012, no. 5, pp. 100–102 (in Russian).
8. Pankova V.B., Kaptsov V.A., Kas'kov Yu.N. Hygienic substantiation of risk of development of professional relative deafness at workers locomotive brigades. *Byulleten' VSN Ts SO RAMN*, 2006, no. 3, pp. 38–41 (in Russian).
9. Vil'k M.F., Pankova V.B., Kaptsov V.A. Traffic noise as a risk factor for occupational deafness (exemplified by air and railway transport). *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 9, pp. 36–37 (in Russian).
10. Girard S.A., Picard M., Davis A.C., Simard M., Larocque R., Leroux T., Turcotte F. Multiple work-related accidents: tracing the role of hearing status and noise exposure. *Occup. Environ. Med.*, 2009, vol. 66, no. 5, pp. 319–324. DOI: 10.1136/oem.2007.037713
11. Nunes P.A.L.D., Traversi C.M. Rail noise-abatement programmes: a stated choice experiment to evaluate the impacts on welfare. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 2007, vol. 27, no. 5, pp. 589–604. DOI: 10.1080/01441640701322693
12. Arezes P.A., Miguel A.S. Hearing protection use in industry: the role of risk perception. *Safety Science*, 2005, vol. 43, no. 4, pp. 253–267. DOI: 10.1093/annhyg/mef067
13. Viokannas H., Anttonen H., Niskanen J. Health risk assessment of noise, hand-arm vibration and cold in railway track maintenance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1994, vol. 13, no. 3, pp. 247–252. DOI: 10.1016/0169-8141(94)90071-X
14. Ustinaviciene R., Piesine L. Morbidity of textile industry workers in Kaunas. *Medicina*, 2007, vol. 43, no. 6, pp. 495–500.
15. Ustinaviciene R., Obelenis V., Ereminas D. Occupational health problems in modern work environment. *Medicina*, 2004, vol. 40, no. 9, pp. 897–904.
16. Sliwinska-Kowalska M., Davis A. Noise-induced hearing loss. *Noise Health*, 2012, vol. 14, no. 61, pp. 274–280. DOI: 10.4103/1463-1741.104893
17. Kas'kov Yu.N. Deyatel'nost' upravleniya Rospotrebnadzora po zheleznodorozhnomu transportu [Activities performed by Rospotrebnadzor Railway Transport Office]. *Zheleznodorozhnyi transport*, 2019, no. 4, pp. 43–47 (in Russian).
18. Kryter K.D. Hearing loss from gun and railroad noise—relations with ISO standard. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1991, vol. 6, no. 90, pp. 3180–3195. DOI: 10.1121/1.401427.1999
19. Joynt J., Kang J. The influence of preconceptions on perceived sound reduction by environmental noise barriers. *Science of the Total Environment*, 2010, vol. 408, no. 20, pp. 4368–4375. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.04.020
20. Nekrasiene R., Kucinskiene J. Formation of green areas of the Klaipeda city. *Urban green formation. Science Jobs*, 2011, vol. 1, no. 8, pp. 147–154 (in Russian).
21. Lie A., Skogstad M., Johnsen T.S., Engdahl B., Tambs K. Hearing status among Norwegian train drivers and train conductors. *Occup. Med. (Lond)*, 2013, vol. 63, no. 8, pp. 544–548. DOI: 10.1093/occmed/kqt114
22. Lie A., Skogstad M., Johnsen T.S., Engdahl B., Tambs K. A cross-sectional study of hearing thresholds among 4627 Norwegian train and track maintenance workers. *BMJ Open*, 2014, vol. 16, no. 4 (10), pp. e005529. DOI: 10.1136/bmjopen-2014-005529
23. Rotter T. The noise factor in railway locomotives. *Applied Ergonomics*, 1982, vol. 13, no. 3, pp. 213–215. DOI: 10.1016/0003-6870(82)90014-x
24. Seshagiri B. Exposure to noise on board locomotives. *AIHA J. (Fairfax, Va)*, 2003, vol. 5, no. 64, pp. 699–707. DOI: 10.1202/532.1.1
25. Igolkin A.A., Kryuchkov A.N., Lazutkin G.V., Afanasev K.M. The Study on Vibroacoustic Characteristics of Shunting Locomotive Cabin. *Procedia Engineering*, 2017, no. 176, pp. 724–731. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.320
26. Peng Y., Fan C., Hu L., Peng S., Xie P., Wu F., Yi S. Tunnel driving occupational environment and hearing loss in train drivers in China. *Environ. Med.*, 2019, vol. 2, no. 76, pp. 97–104. DOI: 10.1136/oemed-2018-105269
27. Hahad O., Beutel M., Gori T., Schulz A., Blettner M., Pfeiffer N., Rostock T. [et al.]. Annoyance to different noise sources is associated with atrial fibrillation in the Gutenberg Health Study. *Int. J. Cardiol.*, 2018, vol. 1, no. 264, pp. 79–84. DOI: 10.1016/j.ijcard.2018.03.126
28. Jarosińska D., Héroux M.È., Wilkhu P., Creswick J., Verbeek J., Wothge J., Paunović E. Development of the WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: An Introduction. *Int. J. Environ. Res. Public. Health.*, 2018, vol. 20, no. 15 (4), pp. E813. DOI: 10.3390/ijerph15040813
29. Clark C., Paunovic K. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cognition. *Int. J. Environ. Res. Public. Health.*, 2018, vol. 7, no. 15 (2), pp. E285. DOI: 10.3390/ijerph15020285
30. Guski R., Schreckenber D., Schuemer R. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. *Int. J. Environ. Res. Public. Health.*, 2017, vol. 8, no. 14 (12), pp. E1539. DOI: 10.3390/ijerph14121539
31. Grubliauskas R., Strukcinskiene B., Raistenskis J., Strukcinskaite V., Buckus R., Janusevicius T. Effects of urban rail noise level in a residential area. *Journal of Vibroengineering*, 2014, vol. 16, no. 2, pp. 987–996.
32. Lie A., Skogstad M., Johnsen T.S., Engdahl B., Tambs K. Noise-induced hearing loss in a longitudinal study of Norwegian railway workers. *BMJ Open*, 2016, vol. 2, no. 6 (9), pp. e011923. DOI: 10.1136/bmjopen-2016-011923

33. Lie A., Skogstad M., Johnsen T.S., Engdahl B., Tambs K. The prevalence of notched audiograms in a cross-sectional study of 12,055 railway workers. *Ear. Hear.*, 2015, vol. 36, no. 3, pp. e86–e92. DOI: 10.1097/AUD.0000000000000129
34. Riesco E., Munoz-Guijosa J.M. An enhanced whole-body vibration emission index for railway vehicles. *Ergonomics*, 2020, no. 11, pp. 1–11. DOI: 10.1080/00140139.2020.1776899
35. Samarskaya N.A., Il'in S.M. Ensuring safe working conditions and health protection of railway workers. *Ekonomika truda*, 2018, vol. 5, no. 4, pp. 1329–1345 (in Russian).
36. Ishchenko V.I. Uluchshenie uslovii i okhrany truda na zheleznodorozhnom transporte [Improvement of labor protection for workers employed at railways. *Put' i putevye khozyaistvo*, 2005, no. 5, pp. 31–34 (in Russian).
37. Steina G.J., Múčka P., Gunstonb T.P., Badurac S. Modelling and simulation of locomotive driver's seat vertical suspension vibration isolation system. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2008, vol. 38, no. 5–6, pp. 384–395. DOI: 10.1016/j.ergon.2007.08.007
38. Tiemessen I.J.H., Hulshof C.T.J., Frings-Dresen M.H.W. Effectiveness of an occupational health intervention program to reduce whole body vibration exposure: an evaluation study with a controlled pretest-post-test design. *Am. J. Ind. Med.*, 2009, vol. 52, no. 12, pp. 943–952. DOI: 10.1002/ajim.20769
39. Johanning E., Landsbergis P., Fischer S., Christ E., Göres B., Luhrman R. Whole-body vibration and ergonomic study of US railroad locomotives. *Journal of Sound and Vibration*, 2006, vol. 298, no. 3, pp. 594–600. DOI: 10.1016/j.jsv.2006.06.030
40. Cooperridera N.K., Gordonb J.J. Shock and impact levels on North American locomotives. *Journal of Sound and Vibration*, 2008, vol. 318, no. 4–5, pp. 809–819. DOI: 10.1016/j.jsv.2008.04.042
41. Kolesnikov I.V., Pronnikov Yu.V. Experimental research of noise and vibration in cabins of locomotives. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*, 2011, vol. 43, no. 3, pp. 153–156 (in Russian).
42. Ohara H., Nakagiri S., Itani T., Wake K., Aoyama H. Occupational health hazards resulting from elevated work rate situations. *J. Hum. Ergol. (Tokyo)*, 1976, vol. 5, no. 2, pp. 173–182.
43. Orlova N.V., Starokozheva A.Ya. Risk factors for cardiovascular disease among railway locomotive drivers. *Meditsinskii al'favit*, 2020, no. 2, pp. 37–40 (in Russian). DOI: 10.33667/2078-5631-2020-2-37-40
44. Birlik G. Occupational exposure to whole body vibration-train drivers. *Ind. Health.*, 2009, vol. 47, no. 1, pp. 5–10. DOI: 10.2486/indhealth.47.5
45. Orlova N.V., Podzolkov V.I., Starokozheva A.Ya., Doldo N.M., Mironova E.V. Vitamin D deficiency study in railway drivers. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika*, 2020, vol. 65, no. 3, pp. 163–168 (in Russian).
46. Finagina E.A., Teodorovich O.V., Tsfasman A.Z., Shatokhin M.N., Shekhovtsov S.Yu. Testosterone level dependence on professional factors (on the example of locomotive drivers). *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii*, 2017, vol. 24, no. 3, pp. 151–155 (in Russian).
47. Jalilian H., Zamanian Z., Gorjizadeh O., Riaei Z., Monazzam M.R., Abdoli-Eramaki M. Autonomic Nervous System Responses to Whole-Body. *Int. J. Occup. Environ. Med.*, 2019, vol. 10, no. 4, pp. 174–184. DOI: 10.15171/ijoem.2019.1688
48. Zhang N., Fard M., Bhuiyan M.H.U., Verhagen D., Azari M.F., Robinson S.R. The effects of physical vibration on heart rate variability as a measure of drowsiness. *Ergonomics*, 2018, vol. 61, no. 9, pp. 1259–1272. DOI: 10.1080/00140139.2018.1482373
49. Landsbergis P., Johanning E., Stillo M., Jain R., Davis M. Occupational risk factors for musculoskeletal disorders among railroad maintenance-of-way workers. *Am. J. Ind. Med.*, 2020, vol. 63, no. 5, pp. 402–416. DOI: 10.1002/ajim.23099
50. Sharp C., Woodcock J., Sica G., Peris E., Moorhouse A.T., Waddington D.C. Exposure-response relationships for annoyance due to freight and passenger railway vibration exposure in residential environments. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2014, vol. 135, no. 1, pp. 205–212. DOI: 10.1121/1.4836115
51. Murakami Y., Yano T., Morinaga M., Yokoshima S. Effects of Railway Elevation, Operation of a New Station, and Earthquakes on Railway Noise Annoyance in Kumamoto, Japan. *Int. J. Environ. Res. Public. Health.*, 2018, vol. 5, no. 15 (7), pp. 1417. DOI: 10.3390/ijerph15071417
52. Gidlöf-Gunnarsson A., Ögren M., Jerson T., Öhrström E. Railway noise annoyance and the importance of number of trains, ground vibration, and building situational factors. *Noise Health*, 2012, vol. 4, no. 59, pp. 190–201. DOI: 10.4103/1463-1741.99895
53. Zal'tsman M.D., Tsygankov S.G., Tovasarov A.D., Konyrbaev R.T., Akberliev A.B. Analiz rezul'tatov attestatsii rabochikh mest AO «LOKOMOTIV» po usloviyam truda [Analysis of results obtained via assessing workplaces at «Lokomotiv» JSC as per working conditions]. *Vestnik Kazakhskoi akademii transporta i kommunikatsii im. M. Tynyshpaeva*, 2015, vol. 92, no. 1, pp. 10–17 (in Russian).
54. Kabantsev A.A. Nekotorye izmeneniya v konstruktsii elektrovozov 2ES5K «ERMAK» [Certain changes in construction of 2EC5K «ERMAK» electric locomotives]. *Lokomotiv*, 2017, vol. 721, no. 1, pp. 30–31 (in Russian).
55. Aerts S., Verloock L., Martens L., Joseph W. Compliance boundaries for train protection systems. *Radiat Prot. Dosimetry.*, 2014, vol. 158, no. 1, pp. 68–72. DOI: 10.1093/rpd/nct183
56. Klimchenko L.N., Cherkasova T.S., Chubar' E.P. Prognozirovaniye neblagopriyatnogo elektromagnitnogo vliyaniya na ob"ektakh zheleznodorozhnogo transporta [Predicting adverse electromagnetic impacts at railway transport objects]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*, 2001, vol. 5, no. 1, pp. 126–129 (in Russian).
57. Santangelo L., Di Grazia M., Liotti F., De Maria E., Calabró R., Sannolo N. Magnetic field exposure and arrhythmic risk: evaluation in railway drivers. *Int Arch Occup Environ Health*, 2005, vol. 78, no. 4, pp. 337–341. DOI: 10.1007/s00420-004-0541-2
58. Zhidkova E.A., Naigovzina N.B., Kalinin M.R., Gutor E.M., Gurevich K.G. The Analysis of the Causes of Sudden Deaths among Workers of Locomotive Crews. *Kardiologiya*, 2019, no. 6, pp. 42–47 (in Russian).
59. Liu Y.M., Sun H.L., Luo Y., Dong Z.L., Ye W.S.Z. Influence of electric traction extremely low frequency electromagnetic field on immune function of train drivers. *Bing. Za. Zhi.*, 2008, vol. 26, no. 11, pp. 659–660.
60. Aerts S., Plets D., Thielens A., Martens L., Joseph W. Impact of a small cell on the RF-EMF exposure in a train. *Int. J. Environ. Res. Public. Health.*, 2015, vol. 27, no. 12 (3), pp. 2639–2652. DOI: 10.3390/ijerph120302639

61. Niu D., Zhu F., Qiu R., Niu Q. Exposure to electromagnetic fields aboard high-speed electric multiple unit trains. *J. Biol. Regul. Homeost. Agents*, 2016, vol. 30, no. 3, pp. 727–731.
62. Rössli M., Lörtscher M., Egger M., Pfluger D., Schreier N., Lörtscher E., Locher P., Spoerri A., Minder C. Mortality from neurodegenerative disease and exposure to extremely low-frequency magnetic fields: 31 years of observations on Swiss railway employees. *Neuroepidemiology*, 2007, vol. 28, no. 4, pp. 197–206. DOI: 10.1159/000108111
63. Rössli M., Lörtscher M., Egger M., Pfluger D., Schreier N., Lörtscher E., Locher P., Spoerri A., Minder C. Leukemia, brain tumours and exposure to extremely low frequency magnetic fields: cohort study of Swiss railway employees. *Occup. Environ. Med.*, 2007, vol. 64, no. 8, pp. 553–559. DOI: 10.1136/oem.2006.030270
64. Schlimp C.J., Breiteneder M., Seifert J., Lederer W. Interference of 16.7-Hz electromagnetic fields on measured electrocardiogram. *Bioelectromagnetics*, 2007, vol. 28, no. 5, pp. 402–405. DOI: 10.1002/bem.20319
65. Khudonogov A.M., Volosatov S.N. K kontseptsii proektirovaniya sistem mikroklimata v kabine upravleniya lokomotivom [On a concept for designing microclimate systems in a locomotive cab]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona*, 2013, no. 2, pp. 352–357 (in Russian).
66. Serikov V.V., Zhidkova E.A., Kolyagin V.Ya., Zakrevskaya A.A., Bogdanova V.E. Social and psychologic, organizational factors influencing occupational activity of locomotive crew workers. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 7, pp. 17–21 (in Russian).
67. Dubilei G.S., Zaikina N.V. Professional'naya reabilitatsiya rabotnikov lokomotivnykh brigad [Occupational rehabilitation for engine team workers]. *Cardio Somatika*, 2013, no. S1, pp. 29 (in Russian).
68. Byankina I.N., Panova I.E., Leonova E.S., Pavlenko O.A. Modern trends of ophthalmologic morbidity and visual health state in railway workers responsible for train control system. *Permskii meditsinskii zhurnal*, 2009, vol. 26, no. 6, pp. 127–131 (in Russian).
69. Leonova E.S., Byankina I.N., Shchekotov E.V., Karaulovskaya E.A. Results of deep clinical and physiologic study of eye in locomotive operators. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2011, no. 1, pp. 38–42 (in Russian).
70. Leonova E.S. Mediko-sotsial'naya i ekonomicheskaya effektivnost' profilaktiki narushenii zreniya u mashinistov lokomotivov [Medical-social and economic efficiency of eye sight disorders prevention for enginemen]. *Sbornik nauchnykh tezisev i statei «Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke»*, 2011, vol. 13, no. 3, pp. 318–319 (in Russian).
71. Farkhatdinov G.A., Kas'kov Yu.N., Podkorytov Yu.I., Svitenko O.A. Aktual'nye voprosy obespecheniya sanitarno-epidemiologicheskoi bezopasnosti passazhirskikh i gruzovykh perevozok zheleznodorozhnym transportom Rossii [The actual problems of supply of sanitarium and epidemiological safety of passenger and goods transportation by Russian railways]. *Dezinfektsiya. Antiseptika*, 2014, vol. 5, no. 2, pp. 28–32 (in Russian).
72. Kas'kov Yu.N., Podkorytov Yu.I. The actual problems of supply of sanitarium and epidemiological safety of passenger and goods transportation by Russian railways. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*, 2016, no. 4, pp. 91–97 (in Russian).
73. Cha Y., Tu M., Elmgren M., Silvergren S., Olofsson U. Factors affecting the exposure of passengers, service staff and train drivers inside trains to airborne particles. *Environ. Res.*, 2018, no. 166, pp. 16–24. DOI: 10.1016/j.envres.2018.05.026
74. Seaton A., Cherrie J., Dennekamp M., Donaldson K., Hurley J.F., Tran C.L. The London Underground: dust and hazards to health. *Occup. Environ. Med.*, 2005, vol. 62, no. 6, pp. 355–362. DOI: 10.1136/oem.2004.014332
75. Leksin A.G. Sanitary epidemiologic safety and technical regulations on railway transport. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2009, no. 7, pp. 17–21 (in Russian).

Loginova V.A., Kas'kov Yu.N., Zhidkova E.A., Gurevich K.G., Smertina Yu.L., Pletnikova O.A. Regulation of work-related and occupational impacts on workers employed at railroads: experience gained in Russia and other countries. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 173–185. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.18.eng

Получена: 08.02.2021

Принята: 02.03.2021

Опубликована: 30.03.2021



Обзорная статья

К НЕКОТОРЫМ ПРОБЛЕМАМ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА НА ОРГАНИЗМ РАБОТАЮЩИХ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

В.Ф. Спирин, А.М. Старшов

Саратовский медицинский научный центр гигиены – филиал Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 410022, г. Саратов, ул. Заречная, 1а

Особое значение проблема хронического воздействия шума приобретает в условиях производства, поскольку это связано не только с нарушением качества жизни работников, но и с изменением их профессиональной деятельности. Нейросенсорная тугоухость профессионального генеза занимает первое место в списке профзаболеваний от воздействия физических факторов на производстве. Нейросенсорная тугоухость, как и любое другое профессиональное заболевание, создает проблемы сохранения трудовых ресурсов страны и определяет значительные экономические потери. В связи с этим разработка ранней диагностики, выяснение всего спектра рисков, прямо или косвенно определяющих формирование нарушения слуха, совершенствование на их основе системы профилактики для работников, подвергающихся шумовому фактору на производстве, являются чрезвычайно важным направлением научных исследований.

Произведен обзор литературных данных за последние 5–7 лет. Было проанализировано более 100 научных материалов по указанной проблеме. В обзоре представлены сведения из 61 источника, которые наиболее корректно отвечали поставленной задаче.

Анализ научной литературы позволил сделать заключение о том, что нарушение слуха из-за хронического воздействия шума на производстве является одной из важных проблем медицины труда в мире. Показано, что шумовой фактор кроме непосредственного влияния на слуховой аппарат оказывает выраженное негативное действие на многие органы и системы, вызывая различную степень нарушений их деятельности, которые прямо или косвенно могут усугублять развитие нарушения слуха у работающих на производстве.

Ключевые слова: производственный шум, вибрация, нейросенсорная тугоухость, распространенность, гигиена труда, факторы риска, гипертоническая болезнь, качество жизни, курение, алиментарный фактор.

В современных условиях в соответствии с одним из важнейших направлений деятельности государства в области трудовых отношений и охраны труда является обеспечение условий, призванных предельно минимизировать риски снижения численности населения России и обеспечить его оптимальный возрастной состав. В связи с этим актуальной задачей медицины труда является проведение исследований в рамках государственных программ, направленных на обоснование гигиенических регламентов по обеспечению безопасных и комфортных условий труда и снижению рисков развития профессиональных и производственно обусловленных заболеваний работников, имеющих контакт с неблагоприятными гигиеническими факторами на производстве.

Современные вызовы ставят перед учеными в области медицины труда задачу по разработке новых подходов к обоснованию регламентов, направленных на снижение или исключение неблагоприятного воздействия производственной среды на работающих. Это неизбежно потребует разработки системы профилактики, обеспечивающей сохранение трудового долголетия, улучшение качества жизни работающих, повышение престижности профессий, связанных с воздействием вредных и опасных гигиенических факторов.

Несмотря на значительные успехи в этом направлении, до настоящего времени во всем мире во многих производственных отраслях работающие находятся в условиях неблагоприятного воздействия на их организм гигиенических факторов, значитель-

© Спирин В.Ф., Старшов А.М., 2021

Спирин Владимир Федорович – доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом гигиены труда (e-mail: vlad.spirin2011@yandex.ru; тел.: 8 (8452) 92-30-48; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2987-0099>).

Старшов Андрей Михайлович – научный сотрудник (e-mail: labergphys@gmail.com; тел.: 8 (8452) 92-30-48; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6499-0459>).

но превышающих допустимые нормы¹. Эта проблема сохраняется во многих производственных отраслях в Российской Федерации, что негативно отражается на трудовом долголетии работников [1].

К основным производствам, в которых работники подвергаются воздействию неблагоприятных гигиенических физических факторов, относятся: угледобывающая, нефтеперерабатывающая, металлургическая промышленность, сельское хозяйство, авиапредприятия и др. Естественно, что в указанных отраслях отмечаются высокие уровни профессиональной и производственно обусловленной заболеваемости, в значительной степени влияющей на ухудшение демографической ситуации в стране, создавая определенную «напряженность» в экономических и социальных аспектах. X. Li и et al. [2] в своей работе, указывая на высокую агрессивность шума на производстве в развитии нейросенсорной тугоухости (НСТ) у работников, приводят данные ВОЗ, свидетельствующие о том, что почти полмиллиарда человек в мире в той или иной степени имеют различные проблемы со слухом, которые не излечимы и обходятся в 750 млрд долларов США.

Современное развитие мировой экономики, призванное максимально удовлетворить возрастающие социально-бытовые потребности населения, неизбежно связано с наращиванием все более прогрессивных технологий в производстве, многие из которых по-прежнему сопряжены с генерацией шума, в том числе превышающего допустимые уровни. Так, даже в индустриально развитой Южной Корее из более 52 тысяч предприятий, связанных с генерацией шума, в 64,6 % случаев уровень шума превышал 80–90 дБА.

Жизнь современного человека в значительной степени связана также с бытовой шумовой экосистемой. Имеются данные о распространенности нарушений слуха у 10,7 % из 164 770 обследованных методом случайной выборки, не ассоциированных с производством [3].

Популяционные исследования в динамике за 25 лет свидетельствовали о том, что работники с профессиональными заболеваниями имели более низкую продолжительность жизни по сравнению с теми, у кого таковые не диагностировались [4]. Авторами было показано, что шахтеры с профессиональными заболеваниями умерли от болезней, которые в 92,6 % имели этиологическую связь с их условиями труда. При этом следует подчеркнуть, что на это производство с наличием вредных производственных факторов принимаются лица, обладающие наилучшими функциональными показателями организма, прошедшие более тщательный медицинский контроль. Естественно, что улучшение всего комплекса социально-гигиенических факторов, в том числе и производственных, будет благоприятно ска-

зываться на показателях общей продолжительности жизни работающих [5].

Вместе с тем в настоящее время существует ряд проблем, которые в разной степени не обеспечивают качество медицинских осмотров работающих на производстве. При изучении условий труда и оказания медицинской помощи работникам промышленных предприятий и сельского хозяйства многие авторы указывают на серьезные недостатки в проведении периодических медицинских осмотров (ПМО) и регистрации у трудящихся профессиональных заболеваний (ПЗ) [6–10]. Очень часто при проведении ПМО в профцентрах у отдельных работников, работающих во вредных условиях труда, впервые устанавливаются 2–3 профзаболевания, что, к сожалению, неизбежно ведет к росту инвалидности у этих людей [11, 12]. На серьезные недостатки в проведении медосмотров работников, занятых на производстве с высоким уровнем шума, в своих исследованиях указывает И.В. Тихонова [13, 14]. Следует также подчеркнуть, что в РФ клинические специалисты не всегда придерживаются единого подхода в формировании клинического диагноза при потере слуха, связанного с воздействием шума. Это, к сожалению, может влиять и на общую оценку состояния профпатологической службы в стране в целом, а также на принятие управленческих решений, разработку адекватной системы профилактики и, в конечном счете, отрицательно сказываться на состоянии трудового потенциала в ведущих отраслях производства и агропромышленном комплексе, а также формировать негативное отношение у молодых людей к профессиям в шумовых производствах.

В научных исследованиях накоплен большой опыт о распространенности НСТ у работающих под воздействием шума на производстве [12, 15–17]. Следует подчеркнуть, что в последние годы заболеваемость профессиональной НСТ увеличилась в 2–2,5 раза [18, 19].

В структуре профессиональной заболеваемости (ПЗ) нейросенсорная тугоухость занимает одно из ведущих мест [17–22]. К сожалению, распространенность НСТ у работников шумных профессий по-прежнему остается на высоком уровне [16]. Удельный вес НСТ среди общего числа ПЗ достигает 73 % у работников железнодорожного транспорта, более 20 % – у механизаторов сельского хозяйства. Нарушение слуха часто является причиной ограничений в профессиональной деятельности. Так, в 85 % причиной недопуска членов летных экипажей к работе является НСТ [23]. Несмотря на принимаемые на всех уровнях меры профилактики, профессиональные заболевания органа слуха от воздействия производственного шума не имеют тенденции к снижению [9, 24–27].

У больных НСТ в сочетании с вибрационной болезнью отмечается значительное снижение адап-

¹ Российский статистический ежегодник. 2017. – М.: Росстат, 2017. – 686 с.

тационного потенциала системы кровообращения [28]. При влиянии на работников указанных гигиенических факторов авторы выявили срыв адаптации у 14 % обследованных, неудовлетворительную адаптацию – у 43,33 %. На сложные полиэтиологические процессы в формировании нейросенсорной тугоухости у работников шумных профессий указывал еще И.Б. Солдатов в 1997 г.²

В последние годы полученные данные позволяют с этиологической точки зрения более пристально рассматривать формирование НСТ в условиях общих шумовых нагрузок вне производственной среды. В этом плане научный интерес представляют материалы К.П. Лужецкого с соавт. [29], посвященные обследованию состояния здоровья населения, проживающего в зоне крупного авиационного узла, позволившие выявить у детей в возрасте 4–7 лет более чем в 5 % случаев двухстороннюю кондуктивную форму тугоухости, у 30,3 % обследованных установить ухудшение функции слухового анализатора с формированием тугоухости легкой степени по смешанному типу. На опасность влияния шумовых нагрузок на детей школьного возраста и подростков указывают результаты исследований других авторов, выявивших значительные отклонения в состоянии органа слуха [30]. Результаты этих исследований позволяют предполагать целесообразность учета шумовых нагрузок школьников, выбирающих в будущем профессии, связанные с наличием шума на производстве, так как «звуковые атаки» наушников в сочетании с наружным шумом приводят к поражению волосковых клеток внутреннего уха. При длительном воздействии агрессивной музыки (есть нормы по NIOSH) у современных молодых «меломанов» эти процессы могут приводить к нарушению слуха. Можно допустить, что у этих лиц при работе в шумовых профессиях развитие НСТ будет проходить более быстрыми темпами, не укладываясь в общепринятую концепцию о сроках возникновения рассматриваемой патологии, что необходимо будет учитывать при разработке профилактических мероприятий на производстве. В этом плане определенный интерес представляют результаты проведенных исследований, указывающих на возможную вероятность нарушения слуха, связанного как с работой, так и с музыкальной нагрузкой [31].

Об учете предшествующего воздействия шума на органы слуха свидетельствуют и результаты исследований, выявивших более выраженные уровни потери слуха у рабочих, проходивших военную службу с использованием стрелкового оружия, по сравнению с теми, кто не проходил военную службу [32]. Авторы полагают, что военная служба является фактором риска, способствующим развитию ранних форм поражения слуха. На фактор «военной службы», значительно влияющий на развитие потери

слуха, указывают исследования, проведенные в Корее [3]. В связи с этим следует обратить внимание на возможность дискриминации лиц, проходивших военную службу в танковых, артиллерийских, авиационных войсках, в ограничении при трудоустройстве их на производства с высоким уровнем шума в целях «профилактики» развития профессиональной НСТ.

Важно также учитывать, что на производстве воздействие шума на организм работающих происходит не изолированно, а в сочетании с другими гигиеническими факторами: вибрацией, микроклиматическим дискомфортом, широким спектром химических соединений различного класса опасности и др. Поэтому можно полагать, что формирование того или иного патологического процесса в организме происходит на фоне их комплексного воздействия и при вовлечении на уровне напряжения всех систем организма для поддержания гомеостаза на оптимальном уровне. Некоторые исследователи оправданно считают важным изучение, в первую очередь, влияния химических соединений, обладающих выраженным действием на центральную нервную систему, на снижение слуха у работников [3]. Поэтому определенное внимание научного сообщества, занятого проблемой потери слуха, может быть обращено на изучение совместного действия шума и химических соединений. Отсутствие стандартов по изучению их совместного действия делает данную проблему актуальной, принимая во внимание бурное развитие химической промышленности с использованием вновь синтезируемых, часто высокоагрессивных соединений во всем мире.

Несмотря на хорошо изученную природу шума как физического фактора, еще остается много неясного в его воздействии на организм в целом [33]. Представляют интерес исследования авторов о появлении шума в ушах у лиц, подверженных воздействию производственного шума [3]. Исследователи полагают, что шум в ушах может явиться начальным признаком профессиональной тугоухости и инвалидности в последующем. Несмотря на то что ученые, проводя исследования на большом материале, полученном при анкетировании, не связывали это положение ни с возрастом, ни со стажем, данный факт заслуживает определенного внимания. С учетом специфики технологических процессов в различных отраслях промышленности и в агропромышленном комплексе, реализации там системы профилактических мероприятий и разработанных систем труда и отдыха, все еще остаются проблемы по регламентации шумовибрационных факторов на производстве, оценке рисков, а также разработке мер по их профилактике [21, 22, 34].

Таким образом, при оценке профессионального риска негативного влияния длительного воздействия шума на здоровье работающих важно учитывать,

² Солдатов И.Б. Руководство по оториноларингологии. – М.: Медицина, 1997. – 608 с.

что кроме специфического воздействия на слуховой аппарат он обладает выраженным биологическим действием на многие органы и системы, значительно угнетая адаптационные возможности организма [35–37].

Е.Л. Базарова с соавт. [38] при обследовании работников металлургического предприятия на анализе большого клинического материала заключили, что воздействие шума является производственным стрессором «большой биологической активности и может служить пусковым механизмом развития патологии многих органов и систем организма». О широком спектре негативного влияния на организм указывают результаты исследований, свидетельствующие о том, что темп биологического старения у лиц, подвергающихся воздействию шума и вибрации, в 1,14 раза выше по сравнению с контрольными данными, а фактический биологический возраст превышает в среднем более чем на 10 лет [39].

Проведенные исследования позволили доказать высокую агрессивность низкочастотных шумов, проявляющуюся в повышении хромосомных аберраций в клетках костного мозга и увеличении содержания *nm* ДНК в плазме крови даже при однократном воздействии [33]. Исследованиями последних лет установлено, что широкополосный шум вызывает функциональное расстройство организма, характеризующееся значительным спектром физиологических манифестаций: головные боли, нарушение сна, утомляемость, раздражительность и др., что в определенной степени влияет на ухудшение качества жизни и работоспособность работающих. Это позволяет рассматривать негативное действие шумового фактора с более широких позиций, а не только уязвимости слухового аппарата. В то же время следует отметить, что при установленном достаточно высоком повреждающем воздействии шума на здоровье водителей показана высокая степень их адаптации к этому фактору. Субъективно 64 % из числа опрошенных считают, что шум на рабочем месте не оказывает на них отрицательного воздействия [40].

В научном сообществе четко прослеживается единая точка зрения о неблагоприятном влиянии производственного шума на состояние сердечно-сосудистой системы работников в различных отраслях производства [41].

Имеются сведения о том, что у работников шумоопасных профессий отмечаются достоверные изменения показателей функционирования сердечно-сосудистой системы с формированием высокого уровня кардиоваскулярного риска [41–45]. Это, безусловно, позволяет рассматривать вопрос по формированию новых подходов к обоснованию и реализации профилактических мероприятий по снижению неблагоприятного действия производственного шума на организм работников.

В публикациях последних лет все чаще важная роль отводится физическим факторам (шум, вибра-

ция) в формировании гипертонической болезни [42, 46–48]. Авторами установлено, что наиболее значимый вклад при воздействии комплекса неблагоприятных факторов производственной среды (шум, вибрация, аэрозоли, статическая и динамическая нагрузки) в развитии гипертонической болезни принадлежит шуму. Эта специфика действия также была подтверждена результатами исследований при оценке риска развития артериальной гипертензии в условиях воздействия шумового и химического факторов [49].

М.А. Землянова с соавт., доказав связь гипертонической болезни с шумом у работников рудообогатительных производств, установили у обследованных и нарушения функционального состояния эндотелия. Авторы обосновали биомаркеры, корректно отражающие уровень эндотелиальной дисфункции у лиц, подвергающихся хроническому шумовому воздействию [50].

Следует также отметить, что исследованиями последних лет установлена прямая зависимость между распространением артериальной гипертензии и длительностью воздействия производственного шума на организм работающих [47]. Авторами показано, что у обследованных работников металлургических предприятий при стаже работы 15 лет и более в 24,1 % случаев развивается артериальная гипертензия.

Подобные результаты были получены X. Li et al. при обследовании более 5 тысяч работников, подвергающихся на производстве воздействию шума выше 85 дБА: при стаже работы более 10 лет у работников была установлена артериальная гипертензия и одновременно снижение слуха [51]. Важно отметить заключение авторов о том, что у трудящихся в возрасте от 30 до 45 лет производственный шум приводил к высокому риску развития как артериальной гипертензии, так и потери слуха. С.А. Еселевич с соавт. также установили у работников этой возрастной группы развитие начальной стадии НСТ при стаже работы в условиях производственного шума, соответствующем в среднем шести годам [52]. Имеются результаты исследований, показывающие не только стажевую зависимость формирования НСТ от воздействия производственного шума, но и развитие артериальной гипертензии и дислипидемии у этих работников, что позволяет авторам обоснованно рекомендовать в общей системе профилактики нарушений слуха проведение коррекции артериальной гипертензии и липидемии [53].

На наш взгляд, следует обратить внимание на результаты исследований ученых, которые на основе обследования более четверти миллиона работающих в условиях шума делают заключение о том, что именно артериальная гипертензия является причиной развития потери слуха [54]. И хотя авторы полагают, что механизм установленного факта не совсем ясен, можно с осторожностью полагать, что артериальная гипертензия, создавая состояние гипоксии при недостаточном «обеспечении» слухово-

го аппарата, способствует формированию условий, приводящих к нарушению слуха. Это обстоятельство в определенной степени может быть объяснено работами исследователей, показавшими роль *stria vascularis* в гомеостазе среднего уха в условиях гипоксии [55].

Следует отметить, что у лиц, работающих в условиях воздействия шума и вибрации, было выявлено нарушение нервной регуляции сердца и нейрогормональной регуляции [42, 56].

Важным, на наш взгляд, является установление факта потенцирующего действия производственного шума на допороговых уровнях в сочетании с другими производственными факторами химической природы [36]. Таким образом, при уровнях шума, даже незначительно превышающих допустимые значения, в сочетании с другими гигиеническими факторами, в первую очередь с химическими, в критерии оценки риска для здоровья работающих необходимо включать дополнительные оценочные данные, а также учитывать их при обосновании программ профилактики и при проведении периодических медицинских осмотров.

Во многих исследованиях авторами все активнее обосновывается концепция качества жизни, связанная со здоровьем работающих во вредных условиях труда с целью более совершенного обоснования подхода для разработки современных технологий по управлению рисками. Необходимо отметить, что у лиц с профессиональными нарушениями слуха отмечается выраженное снижение таких показателей, как активность и самочувствие, прямо и / или косвенно влияющих на качество жизни.

В анализируемой литературе имеются сведения о влиянии социальных факторов на развитие потери слуха, которые еще не в полной мере учитываются в разработке профилактических мероприятий. Так, китайские ученые с использованием метаанализа при обследовании более 30 тысяч человек установили связь между курением и потерей слуха [2]. Исследование этих авторов показало, что курение является фактором риска развития данной патологии. Максимальный отрицательный эффект с учетом не всегда проявляющейся линейной зависимости в снижении слуха определяется у обследованных после 15-летнего стажа (с учетом зависимости «доза – ответ») курения сигарет. Авторы обоснованно заявляют о важности разработки программ по отказу курения для лиц, работающих в условиях шумового воздействия. Также представляет интерес заключение авторов о том, что длительное курение является фактором высокого риска многих заболеваний, которые в совокупности могут приводить к нарушению слуха у работающих в условиях повышенного уровня шума на производстве.

Современные демографические процессы, свидетельствующие об увеличении продолжительности жизни и снижении рождаемости в России, приводят к диспропорции трудовых ресурсов, социальному

напряжению, что, в конечном счете, привело к необходимости увеличения пенсионного возраста. Перед гигиенической наукой неизбежно возникнет необходимость изучения и обоснования уровня влияния неблагоприятных гигиенических факторов в условиях длительности экспозиции, регламентированной соответствующими нормативными документами. Проведенными исследованиями показано, что при улучшении всех значимых санитарно-гигиенических факторов второе место по вкладу в продолжительность жизни населения принадлежит физическим факторам [5].

При оценке неблагоприятного воздействия шума на работающих в различных отраслях экономики и его вклада в развитие снижения слуха необходимо учитывать, что при увеличении стажа работы на развивающиеся процессы поражения органа слуха наслаиваются и возрастные изменения у трудящихся [57].

В научной литературе также имеются сведения о влиянии питания (метаболический фактор) на развитие тугоухости населения. В связи с этим представляют интерес исследования корейских ученых, изучавших взаимосвязь между диетическим питанием и нарушением слуха у взрослого населения в возрасте 65 лет. В течение трех лет 4742 человека проходили широкое клиническое обследование, включая аудиологическую оценку и исследование состояния их питания [58]. Авторы для обеспечения однородности при подборе в группы испытуемых учитывали у обследованных индекс массы тела, факт курения, употребления алкоголя, а также наличия в анамнеза диабета и артериальной гипертензии. Результаты трехлетнего исследования позволили установить различную по интенсивности связь между развитием потери слуха и питанием в зависимости от уровня потребления с пищей рибофлавина, ниацина и ретинола. Только одна группа обследованных получала их на оптимальных уровнях, рекомендуемых ВОЗ, что позволило авторам уверенно говорить об их эффективности в профилактике нарушения слуха, а также высказать мнение о возможности использования их в общей системе профилактики снижения слуха.

Имеются также сведения о положительной роли употребления в питании поливитаминов на улучшение качества слуха у обследованных [59]. Исследования, проведенные британскими учеными, также косвенно подтверждают роль алиментарного фактора в нарушении слуха. В исследованиях был установлен повышенный уровень распространенности снижения слуха у лиц с более низким социально-экономическим уровнем жизни, что связано с качеством питания [31].

Выводы. Проведенный анализ литературы позволил заключить, что проблема неблагоприятного воздействия шума как на слуховой аппарат, так и на основные системы организма, в настоящее время остается чрезвычайно актуальной. Тема потери слу-

ха выходит за рамки только медицины труда, приобретая значимость также с экономических и социальных позиций. От решения задач сохранения слуха в значительной степени будет зависеть не только улучшение качества жизни работающих в шумоопасных производствах, но и увеличение продолжительности жизни работников основных отраслей производства страны, а также повышение престижности рабочих профессий.

Рост продолжительности жизни и увеличение пенсионного возраста неизбежно связаны с возрастанием стажа работы в шумовых профессиях, что, естественно, приведет к обострению рассматриваемой проблемы.

Увеличение периода экспозиции комплексом производственных факторов, включающих шум, с учетом меняющихся современных социальных факторов, требует проведения дополнительных иссле-

дований по изучению всего спектра производственных рисков влияния шума на орган слуха в частности и на организм в целом; научного обоснования и разработки опережающих технологий в системе профилактики нарушений слуха и сохранение здоровья работающих, стабилизацию трудового потенциала в ведущих отраслях производства.

Обеспечение комфортных производственных и социальных условий работникам следует рассматривать как одно из важных направлений научных исследований в области гигиены и медицины труда в соответствии с основными задачами государственных заданий.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Жеглова А.В. Персонифицированный профессиональный риск и трудовое долголетие // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 627–628.
2. Association between Smoking and noise-induced Hearing Loss: Meta-Analysis of Observational Studies / X. Li, X. Rong, Z. Wang, A. Lin // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2020. – Vol. 17, № 4. – P. 1201. DOI: 10.3390/ijerph17041201
3. Kim K.S. Occupational Hearing Loss in Korea // J. Korean Med. Sci. 2010. – Vol. 25. – P. 62–69. DOI: 10.3346/jkms.2010/25.S62
4. Условия труда как фактор риска повышения смертности в трудоспособном возрасте / И.В. Бухтияров, Н.Ф. Измеров, Г.И. Тихонова, А.Н. Чуранова, Т.Ю. Горчакова, М.С. Брылева, А.А. Крутко // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 8. – С. 43–49.
5. Санитарно-эпидемиологические детерминанты и ассоциированный с ним потенциал роста ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации / А.Ю. Попова, Н.В. Зайцева, Г.Г. Онищенко, С.В. Клейн, М.В. Глухих, М.Р. Камалтдинов // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 1. – С. 4–15. DOI: 10.21668/health.risk/2020.1.01
6. Валеева Э.Т., Бакиров А.Б., Шайхлисламова Э.Р. О причинах низкой выявляемости профзаболеваний в Республике Башкортостан // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 578–579.
7. Панова И.В., Лашина Е.Л., Паксеева В.С. Итоги проведения периодических медицинских осмотров в Центральном федеральном округе 2016–2018 гг. // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 716.
8. Панова И.В., Чернов О.Э., Пфафф В.Ф. Обязательные медицинские осмотры как способ профилактики // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 717.
9. Панкова В.Б., Вильк М.Ф., Дайхес Н.А. Потеря слуха от воздействия шума – актуальная проблема профпатологии // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 713–714.
10. Атаманчук А.А., Кабанова Т.Г. Трудности выявления профессиональной заболеваемости // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 9. – С. 11–12.
11. Берхеева З.М. Проблемы оказания профпатологической помощи работникам агропромышленного комплекса // Медицина труда и экология человека. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 567–568.
12. Газизов О.М., Аманбекова А.У. Профессиональная нейросенсорная тугоухость у горнорабочих угольных шахт // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 594–595.
13. Тихонова И.В. Роль проведения предварительных периодических углубленных медицинских осмотров в профилактике развития профессиональных нарушений слуха // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2005. – Т. 40, № 2. – С. 92–94.
14. Принципы диагностики потери слуха, вызванной шумом, в современной России (систематический обзор литературы) / Е.Е. Аденинская, Н.И. Симонова, Н.Н. Мазитова, И.В. Низяева // Вестник современной клинической медицины. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 48–55.
15. Чеботарев А.Г., Булгакова Н.В., Хакимова О.О. Гигиеническая оценка шума и патологии органа слуха у рабочих горно-металлургических предприятий // Горная промышленность. – 2017. – Т. 132, № 2. – С. 64–66.
16. Профессиональные заболевания / под ред. Н.Ф. Измерова [и др.]. – М., 1996. – Т. 1. – 336 с.
17. Гарипова Р.В., Сафина К.Р., Нигматуллина Г.Р. Структура профессиональной заболеваемости крупного машиностроительного предприятия // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 596–597.
18. Федина И.Н., Преображенская Е.А. Особенности снижения слуха, вызванного шумом в современных условиях // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 9. – С. 200–201.
19. Трофимова К.И., Гибадулина И.Ю., Булгакова М.В. Фармакотерапия при сочетанной сердечно-сосудистой патологии и профессиональной нейросенсорной тугоухости у лиц, работающих в условиях воздействия шума // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 9. – С. 194–195.

20. Безрукова Г.А., Новикова Т.А., Шалашова М.А. Роль виброакустического фактора в формировании профессиональной заболеваемости работников сельского хозяйства // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 9. – С. 22–23.
21. Вильк М.Ф., Панкова В.Б., Капцов В.А. Транспортный шум как фактор риска профессиональной тугоухости (на примере авиационного и железнодорожного транспорта) // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 9. – С. 36–37.
22. Тюрин А.В., Вяльцина Н.Е., Кулбаисов А.М. Профессиональная заболеваемость в Оренбургской области // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 780–781.
23. Ромейко В.Л., Ивлева Г.П. Гигиеническая оценка акустической нагрузки на членов летных экипажей воздушных судов гражданской авиации // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 9. – С. 161.
24. Зависимость повышения порогов слышимости у членов летных экипажей от производственных факторов риска / Е.Е. Аденинская, Н.И. Симонова, А.А. Савельев, С.С. Мухарамова // Вестник современной клинической медицины. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 17–22.
25. Панкова В.Б., Федина И.Н., Волгарева А.Д. Профессиональная нейросенсорная тугоухость: диагностика, профилактика, экспертиза трудоспособности / под ред. И.А. Дойхеса. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2017. – 330 с.
26. Актуальные проблемы ранней диагностики нейросенсорной тугоухости у работников нефтехимических производств / А.Д. Волгарева, Л.К. Каримов, А.Б. Бакиров, Э.Р. Шайхлисламова, Г.Г. Гимранова, Н.А. Мулдашева, Г.М. Чудковец, Н.Р. Газизова, Г.Н. Файзуллина // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – № 1. – С. 5–10.
27. Современные принципы реабилитации нарушений слуха у работников «шумовых предприятий» / В.Б. Панкова, И.Н. Федина, Н.Г. Бомштейн, Л.Л. Волохов, П.В. Серебряков // Здравоохранение Российской Федерации. – 2018. – Т. 62, № 3. – С. 147–151.
28. Ерениев С.И., Плотникова О.В. Адаптационный потенциал системы кровообращения больных вибрационной болезнью и сенсорной тугоухостью // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 623–624.
29. Комплексная оценка состояния здоровья населения, проживающего в условиях сочетанного воздействия шума и химических факторов риска, обусловленных деятельностью крупного авиационного узла / К.П. Лужецкий, О.Ю. Устинова, С.В. Клейн, Д.Н. Кошурников, С.А. Вековщина, В.М. Чигвинцев // Медицина труда и промышленная экология. – 2018. – № 10. – С. 12–16.
30. Попова О.А., Гончарова И.Г., Картышева С.И. Проблемы слухового утомления и слуховой адаптации у детей и подростков // Материалы V Всероссийской конференции «Новой школе – здоровые дети». – 2018. – С. 130–132.
31. Hearing in middle age: a population snapshot of 40–69 year old in the UK / P. Dawes, H. Fortnum, D.R. Moore, R. Emsley, P. Norman, K. Cruickshanks, A. Devis [et al.] // Ear. Hear. – 2014. – Vol. 35, № 3. – P. e44–e51. DOI: 10.1097/AUD.000000000000010
32. Чуркин Д.В., Ластков Д.О., Антропова О.С. Оценка выраженности нарушений слуха у участников локального военного конфликта с предшествующим стажем работы в условиях производственного шума // Медицина в Кузбассе. – 2018. – Т. 17, № 2. – С. 9–14.
33. Васильева И.Н., Беспалов В.Г., Зинкин В.Н. Низкочастотный шум как вредный фактор, повышающий частоту хромосомных aberrаций и усиливающий клеточную гибель // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 3. – С. 22–26.
34. Прокопенко Л.В., Кравченко О.К., Курьеров Н.Н. Проблемы регламентации воздействия шумовибрационных факторов на водителей автотранспортных средств и меры профилактики // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 9. – С. 158–159.
35. Concha-Barrientos M., Camobell-Lendrum D., Steenlend H. Occupational noise: assessing the burden of disease from work-related hearing impairment at national and local levels // WHO Environmental Burden of Diseases Series. – Geneva: World Health Organization, 2004. – № 9. – P. 41.
36. Васюткина Д.И. Производственный шум и его влияние на организм человека // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 1. – С. 125–128.
37. Денисов Э.И., Чесалин П.В. Неспецифические эффекты воздействия шума // Гигиена и санитария. – 2007. – № 6. – С. 54–57.
38. Оценка профессионального риска, связанного с воздействием шума, у работников модернизируемых участков металлургического предприятия / Е.Л. Базарова, А.А. Федорук, Н.А. Рослая, И.С. Ошеров, А.Г. Бабенко // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 3. – С. 142–148.
39. Ерениев С.И., Плотников О.В. Биологический возраст и темпы постарения больных вибрационной болезнью и двусторонней нейросенсорной тугоухостью // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 624–625.
40. Климова М.Г., Христофорова Н.К. Физическое воздействие шума на здоровье водителей // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 1. – С. 38–46.
41. Анализ вариабельности сердечного ритма при нарушении сердечной деятельности у работников нефтеперерабатывающего предприятия / А.Е. Носов, А.С. Байдина, Е.М. Власов, В.Б. Алексеев // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 1. – С. 41–45.
42. Мелентьев А.В., Серебряков П.В., Щеглова А.В. Влияние шума и вибрации на нервную регуляцию сердца // Медицина труда и промышленная экология. – 2018. – № 9. – С. 19–23.
43. Попов М.Н. Влияние сосудистого фактора на развитие профессиональной нейросенсорной тугоухости // Российская оториноларингология. – 2014. – Т. 68, № 1. – С. 182–183.

44. Мелентьев А.В., Серебряков П.В. Роль физических факторов рабочей среды в формировании артериальной гипертензии // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 692–693.
45. Особенности системы гемостаза и роста эндотелия сосудов при артериальной гипертензии в условиях высокого профессионального риска / Н.Ф. Измеров, И.В. Бухтияров, М.А. Ермакова, А.А. Шпагина // Медицина труда и промышленная экология. – 2014. – № 3. – С. 1–6.
46. Преображенская Е.А., Сухова А.В., Измайлова О.А. Клинико-функциональное состояние сердечно-сосудистой системы у рабочих // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 9. – С. 158.
47. Влияние производственного шума на развитие артериальной гипертензии у работников металлургических производств / М.И. Тиунова, Е.М. Власова, А.Е. Носов, О.Ю. Устинова // Медицина труда и промышленная экология. – 2020. – Т. 60, № 4. – С. 264–267.
48. Атаманчук А.А., Дмитрук Л.И., Горенков Р.В. Роль неблагоприятных производственных факторов в формировании гипертонической болезни // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 546–547.
49. Оценка риска артериальной гипертензии в условиях воздействия шумового и химического факторов производства / И.Н. Федина, П.В. Серебряков, И.В. Смолякова, А.В. Мелентьев // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 2. – С. 21–26.
50. Биомаркеры производственно обусловленной эндотелиальной дисфункции у работников рудообогатительных производств в условиях длительной экспозиции шума / М.А. Землянова, Н.В. Зайцева, Д.А. Кирьянов, Д.М. Шляпников, Т.М. Лебедева // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 1. – С. 56–62.
51. The Influence of Occupational Noise Exposure on Cardiovascular and Hearing Conditions among Industrial Workers / X. Li, Q. Dong, B. Wang, H. Songan, B. Zhu // Sci. Rep. – 2019. – Vol. 9. – P. 11524. DOI: 10.1038/541598-019-47901-2
52. Еселевич С.А., Балунов В.Д., Колесникова В.А. Принципы формирования групп риска среди работников на предприятиях Ленинградской области // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 625–626.
53. Профессиональная тугоухость у работников локомотивных бригад и ее ассоциация с факторами риска / В.Ф. Пфаф, С.Г. Горохова, К.Э. Лузина, Е.С. Янушкина, Т.С. Пригоровская, Е.В., Мурасеева С.П. Драгин, А.Ю. Атьков // Медицина труда и промышленная экология. – 2016. – № 2. – С. 33–37.
54. Hearing Loss Characteristics of Workers with Hypertension Exposed to Occupational Noise: A Cross-Sectional Study of 270,033 Participants / B. Wang, L. Han, S. Dai, X. Li, W. Cai, D. Yang, L. Chen, N. Wang, B. Zhu, J. Zhang // Hindawi BioMed Research International. – 2018. – Vol. 2018. – P. 7. DOI: 10.1155/2018/8541638
55. Ciuman R.R. Stria vascularis and vestibular dark cells: characterisation of main structures responsible for homeostasis, and their pathophysiological relations // The Journal of Laryngology & Otology. – 2009. – Vol. 123, № 2. – P. 151–162. DOI: 10.1017/S0022215108002624
56. Воздействие комплекса физических факторов на нейрогормональную регуляцию у работающих горнодобывающей промышленности и машиностроении / И.В. Лапко, В.А. Кирьяков, Н.А. Павловская, А.В. Жеглова, О.А. Ошкoderов // Санитарный врач. – 2015. – № 2. – С. 9–15.
57. Dobie R.A. The burdens of age-related and occupational noise-induced hearing loss in the United States // Ear Hear. – 2008. – Vol. 29, № 4. – P. 565–577. DOI: 10.1097/AUD.0b013e31817349ec
58. Kim T.S., Chung J.W. Associations of Dietary Riboflavin, Niacin, and Retinol with Age-related Hearing Loss; An Analysis of Korean National Health and Nutrition Examination Survey Data // Nutrients. – 2019. – Vol. 11, № 4. – P. 896. DOI: 10.3390/nu11040896
59. Spankovich C., Li Prell C.G. Healthy diets, healthy hearing: National health and nutrition examination survey, 1999–2002 // Int. J. Audiol. – 2013. – Vol. 52, № 6. – P. 369–376. DOI: 10.3109/14992027.2013.780133

Спирин В.Ф., Старшов А.М. К некоторым проблемам хронического воздействия производственного шума на организм работающих (обзор литературы) // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 186–196. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.19

Review

**ON CERTAIN ISSUES RELATED TO CHRONIC EXPOSURE TO OCCUPATIONAL NOISE AND IMPACTS EXERTED BY IT ON WORKERS' BODIES
(LITERATURE REVIEW)****V.F. Spirin, A.M. Starshov**

Saratov Hygiene Medical Research Center of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 1a Zarechnaya Str., Saratov, 410022, Russian Federation

Chronic exposure to noise becomes especially significant when it occurs at workplaces since it results not only in deteriorated life quality of workers but also in disorders in their occupational activities. Occupational sensorineural hearing loss (SHL) holds the 1st rank place among occupational diseases caused by exposure to industrial physical factors. As any other work-related disease, sensorineural hearing loss makes it more difficult to preserve labor resources in the country and leads to significant economic losses. Given that, it is extremely vital to develop procedures for early diagnostics, to determine all possible risks that cause hearing loss directly or indirectly, and to create efficient prevention activities aimed at preserving health of workers exposed to noise at their workplaces.

We reviewed literature data published over the last 5–7 years and analyzed more than 100 scientific works on the matter. Our review covers data from 61 sources that are the most relevant regarding tasks we aimed to solve in this research.

Literature analysis allowed us to conclude that hearing loss caused by chronic exposure to noise at a workplace was a rather significant problem outlined by occupational medicine experts all over the world. It was shown that noise factor, apart from its direct impacts on the acoustic apparatus, produced apparent negative effects on many organs and systems causing various functional disorders in them which could directly or indirectly exacerbate hearing loss in workers.

Key words: in-plant noise, vibration, sensorineural hearing loss, prevalence, occupational hygiene, risk factors, primary hypertension, life quality, smoking, alimentary factor.

References

1. Zheglova A.V. Personalized occupational risk and longevity. *Meditcina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9 – C. 627–628 (in Russian).
2. Li X., Rong X., Wang Z., Lin A. Association between Smoking and noise-induced Hearing Loss: Meta-Analysis of Observational Studies. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17, no. 4, pp. 1201. DOI: 10.3390/ijerph17041201
3. Kim K.S. Occupational Hearing Loss in Korea. *J. Korean Med Sci*, 2010, vol. 25, pp. 62–69. DOI: 10.3346/jkms.2010.25.S62
4. Bukhtiyarov I.V., Izmerov N.F., Tikhonova G.I., Churanova A.N., Gorchakova T.Yu., Bryleva M.S., Krutko A.A. Work conditions as a risk factor mortality increase in able-bodied population. *Meditcina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 8, pp. 43–49 (in Russian).
5. Popova A.Yu., Zaitseva N.V., Onishchenko G.G., Kleyn S.V., Glukhikh M.V., Kamaltdinov M.R. Social and economic determinants and potential for growth in life expectancy of the population in the Russian Federation taking into account regional differentiation. *Health Risk Analysis*, 2020, no. 1, pp. 4–17 (in Russian). DOI: 10.21668/health.risk/2020.1.01.eng
6. Valeeva E.T., Bakirov A.B., Shaikhislamova E.R. About the reasons of low detection of occupational diseases in the republic of Bashkortostan. *Meditcina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 578–579 (in Russian).
7. Panova I.V., Lashina E.L., Pakseeva V.S. The results of periodic medical examinations in the central Federal district 2016–2018. *Meditcina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 716 (in Russian).
8. Panova I.V., Chernov O.E., Pfaff V.F. Mandatory medical examinations as a method of prevention. *Meditcina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 717 (in Russian).
9. Pankova V.B., Vil'k M.F., Daikhes N.A. Hearing loss from noise exposure is an urgent problem of occupational medicine. *Meditcina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 713–714 (in Russian).
10. Atamanchuk A.A., Kabanova T.G. Difficulties in diagnosis of occupational diseases in Russia. *Meditcina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 9, pp. 11–12 (in Russian).

© Spirin V.F., Starshov A.M., 2021

Vladimir F. Spirin – Doctor of Medical Sciences, Professor, Leading researcher, Head of the Occupational Hygiene Department (e-mail: vlad.spirin2011@yandex.ru; tel.: +7 (8452) 92-30-48; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2987-0099>).

Andrey M. Starshov – Researcher (e-mail: labergphys@gmail.com; tel.: +7 (8452) 92-30-48; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6499-0459>).

11. Berkheeva Z.M. Problems of providing occupational health care to employees of agro-industrial complex. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 567–568 (in Russian).
12. Gazizov O.M., Amanbekova A.U. Professional sensorineural hearing loss in coal miners. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 594–595 (in Russian).
13. Tikhonova I.V. The role of performing and periodical profound medical examinations in the development prevention of occupational hearing disorders. *Byulleten' VSNTs SO RAMN*, 2005, vol. 40, no. 2, pp. 92–94 (in Russian).
14. Adeninskaya E.E., Simonova N.I., Mazitova N.N., Nizyaeva I.V. The principles of noise induced hearing loss diagnostics in modern Russia (systematic review). *Vestnik sovremennoi klinicheskoi meditsiny*, 2017, vol. 10, no. 3, pp. 48–55 (in Russian).
15. Chebotarev A.G., Bulgakova N.V., Khakimova O.O. Gigienicheskaya otsenka shuma i patologii organa slukha u rabochikh gorno-metallurgicheskikh predpriyatiy [Hygienic assessment of noise and acoustic apparatus pathologies among workers employed at mining and metallurgical enterprises]. *Gornaya promyshlennost'*, 2017, vol. 132, no. 2, pp. 64–66 (in Russian).
16. Professional'nye zabolevaniya [Occupational diseases]. In: N.F. Izmerov [et al.] eds. Moscow, 1996, vol. 1, 336 p. (in Russian).
17. Garipova R.V., Safina K.R., Nigmatullina G.R. Structure of occupational morbidity of employees of a large machine-building enterprise. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 596–597 (in Russian).
18. Fedina I.N., Preobrazhenskaya E.A. Features of noise-induced hearing loss in modern conditions. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 9, pp. 200–201 (in Russian).
19. Trofimova K.I., Gibadulina I.Yu., Bulgakova M.V. Pharmacotherapy for combined cardiovascular pathology and occupational neurosensory deafness in workers exposed to noise. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 9, pp. 194–195 (in Russian).
20. Bezrukova G.A., Novikova T.A., Shalashova M.A. The role of vibro-acoustic factor in formation of occupational morbidity of agricultural workers. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 9, pp. 22–23 (in Russian).
21. Vil'k M.F., Pankova V.B., Kapstov V.A. Traffic noise as a risk factor for occupational deafness (exemplified by air and railway transport). *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 9, pp. 36–37 (in Russian).
22. Tyurin A.V., Vyal'tsina N.E., Kulbaisov A.M. Occupational morbidity in the Orenburg region. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 780–781 (in Russian).
23. Romeiko V.L., Ivleva G.P. Hygienic assessment of acoustic load on flight crew members of civil aircrafts. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 9, pp. 161 (in Russian).
24. Adeninskaya E.E., Simonova N.I., Savel'ev A.A., Mukharamova S.S. Auditory threshold raising dependence on production risk factors in air crew members. *Vestnik sovremennoi klinicheskoi meditsiny*, 2018, vol. 11, no. 1, pp. 17–22 (in Russian).
25. Pankova V.B., Fedina I.N., Volgareva A.D. Professional'naya neirosensornaya tugoukhost': diagnostika, profilaktika, ekspertiza trudospособnosti [Occupational sensorineural hearing loss: diagnostics, prevention, and working capacity examination]. In: I.A. Doikhed ed. Moscow, Izdatel'sko-torgovaya korporatsiya «Dashkov i Ko» Publ., 2017, 330 p. (in Russian).
26. Volgareva A.D., Karimov L.K., Bakirov A.B., Shaikhislamova E.R., Gimranova G.G., Muldasheva N.A., Chudkovets G.M., Gazizova N.R., Faizullina G.N. Relevant problems of early diagnosis of neuro-sensor hearing loss in petrochemical workers. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*, 2019, no. 1, pp. 5–10 (in Russian).
27. Pankova V.B., Fedina I.N., Bomshtein N.G., Volokhov L.L., Serebryakov P.V. The modern principles of rehabilitation of hearing disorders in workers of noise occupations. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*, 2018, vol. 62, no. 3, pp. 147–151 (in Russian).
28. Ereniev S.I., Plotnikova O.V. Adaptive potential of the circulatory system in patients with vibration disease and sensorineural hearing loss. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 623–624 (in Russian).
29. Luzhetskii K.P., Ustinova O.Yu., S.V. Kleyn, Koshurnikov D.N., Vekovshina S.A., Chigvintsev V.M. Peculiarities of production-related diseases in miners employed at deep mining of chromic ores. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2018, no. 10, pp. 12–16 (in Russian).
30. Popova O.A., Goncharova I.G., Kartysheva S.I. Problems auditory fatigue and auditory adaptation in children and adolescents. *Materialy V Sserossiiskoi konferentsii «Novoi shkole – zdorovye deti»*, 2018, pp. 130–132 (in Russian).
31. Dawes P., Fortnum H., Moore D.R., Emsley R., Norman P., Cruickshanks K., Devis A. [et al.]. Hearing in middle age: a population snapshot of 40–69 year old in the UK. *Ear Hear*, 2014, vol. 35, no. 3, pp. e44–e51. DOI: 10.1097/AUD.000000000000010
32. Churkin D.V., Lastkov D.O., Antropova O.S. Evaluation of the expression of hearing disorders in participants of a local military conflict with preceding work experience in conditions of production noise. *Meditsina v Kuzbasse*, 2018, vol. 17, no. 2, pp. 9–14 (in Russian).
33. Vasil'eva I.N., Bepalov V.G., Zinkin V.N. Low-frequency noise as a hazard increasing occurrence of chromosomal aberrations and promoting cell death. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 3, pp. 22–26 (in Russian).
34. Prokopenko L.V., Kravchenko O.K., Kur'rov N.N. Problems of regulation for noise and vibration influence on automobile drivers and prevention measures. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 9, pp. 158–159 (in Russian).
35. Concha-Barrientos M., Camobell-Lendrum D., Steenlend H. Occupational noise: assessing the burden of disease from work-related hearing impairment at national and local levels. WHO Environmental Burden of Diseases Series. Geneva, World Health Organization Publ., 2004, no. 9, pp. 41 (in Russian).
36. Vasyutkina D.I. Proizvodstvennyi shum i ego vliyanie na organism cheloveka [In-plant noise and its impacts on a human body]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*, 2013, no. 1, pp. 125–128 (in Russian).
37. Denisov E.I., Chesalin P.V. Nonspecific effects of noise expo-sure. *Gigiena i sanitariya*, 2007, no. 6, pp. 54–57 (in Russian).
38. Bazarova E.L., Fedoruk A.A., Roslaya N.A., Oshero V.I.S., Babenko A.G. Assessment of occupational risk caused by noise exposure in workers at metallurgical plant subunits under modernization. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 3, pp. 142–148 (in Russian).

39. Ereniev S.I., Plotnikov O.V. Biological age and rates of aging of patients with vibration disease and bilateral sensorineural hearing loss. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 624–625 (in Russian).
40. Klimova M.G., Khristoforova N.K. Physical influence of noise on drivers health. *Vestnik RUDN. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2012, no. 1, pp. 38–46 (in Russian).
41. Nosov A.E., Baidina A.S., Vlasov E.M., Alekseev V.B. Analysis of the heart rate variability in cardiac abnormalities in workers employed in oil production. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 1, pp. 41–45 (in Russian).
42. Melent'ev A.V., Serebryakov P.V., Shcheglova A.V. Influence of noise and vibration on nervous regulation of heart. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2018, no. 9, pp. 19–23 (in Russian).
43. Popov M.N. Vascular factor in development of professional neurotouch relative deafness. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*, 2014, vol. 68, no. 1, pp. 182–183 (in Russian).
44. Melent'ev A.V., Serebryakov P.V. The role of physical factors of the working environment in the formation of arterial hypertension. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 692–693 (in Russian).
45. Izmerov N.F., Bukhtiyarov I.V., Ermakova M.A., Shpagina A.A. Features of hemostasis system and vascular epithelium growth factor in arterial hypertension with high occupational risk. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2014, no. 3, pp. 1–6 (in Russian).
46. Preobrazhenskaya E.A., Sukhova A.V., Izmailova O.A. Clinical and functional state of cardiovascular system in workers exposed to noise and vibration. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 9, pp. 158 (in Russian).
47. Tiunova M.I., Vlasova E.M., Nosov A.E., Ustinova O.Yu. Influence of industrial noise on the development of arterial hypertension in workers of metallurgical manufactures. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2020, vol. 60, no. 4, pp. 264–267 (in Russian).
48. Atamanchuk A.A., Dmitruk L.I., Gorenkov R.V. The role of adverse occupational factors in the formation of hypertension in workers. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 546–547 (in Russian).
49. Fedina I.N., Serebryakov P.V., Smolyakova I.V., Melent'ev A.V. Evaluation of arterial hypertension risk under exposure to noise and chemical occupational hazards. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 2, pp. 21–26 (in Russian).
50. Zemlyanova M.A., Zaitseva N.V., Kir'yanov D.A., Shlyapnikov D.M., Lebedeva T.M. Biomarkers of work-related endothelial dysfunction in employees of ore-dressing production occupied in conditions of long-term noise exposure. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 1, pp. 56–62 (in Russian).
51. Li X., Dong Q., Wang B., Songan H., Zhu B. The Influence of Occupational Noise Exposure on Cardiovascular and Hearing Conditions among Industrial Workers. *Sci. Rep.*, 2019, vol. 9, pp. 11524. DOI: 10.1038/541598-019-47901-2
52. Eseevich S.A., Balunov V.D., Kolesnikova V.A. Principles of formation of risk groups among employees at the enterprise in the Leningrad region. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 625–626 (in Russian).
53. Pfaf V.F., Gorokhova S.G., Luzina K.E., Yanushkina E.S., Prigorovskaya T.S., Muraseeva E.V., Dragin S.P., At'kov A.Yu. Occupational deafness in workers of locomotive crew and its association with risk factors. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2016, no. 2, pp. 33–37 (in Russian).
54. Wang B., Han L., Dai S., Li X., Cai W., Yang D., Chen L., Wang N., Zhu B., Zhang J. Hearing Loss Characteristics of Workers with Hypertension Exposed to Occupational Noise: A Cross-Sectional Study of 270,033 Participants. *Hindawi BioMed Research International*, 2018, vol. 2018, pp. 7. DOI: 10.1155/2018/8541638
55. Ciuman R.R. Stria vascularis and vestibular dark cells: characterization of main structures responsible for homeostasis, and their pathophysiological relations. *The Journal of Laryngology & Otology*, 2009, vol. 123, no. 2, pp. 151–162. DOI: 10.1017/S0022215108002624
56. Lapko I.V., Kir'yakov V.A., Pavlovskaya N.A., Zheglova A.V., Oshkoderov O.A. The impact of physical factors on the complex neurohormonal regulation of workers in mining and engineering. *Sanitarnyi vrach*, 2015, no. 2, pp. 9–15 (in Russian).
57. Dobie R.A. The burdens of age-related and occupational noise-induced hearing loss in the United States. *Ear Hear*, 2008, vol. 29, no. 4, pp. 565–577. DOI: 10.1097/AUD.0b013e31817349ec
58. Kim T.S., Chung J.W. Associations of Dietary Riboflavin, Niacin, and Retinol with Age-related Hearing Loss; An Analysis of Korean National Health and Nutrition Examination Survey Data. *Nutrients*, 2019, vol. 11, no. 4, pp. 896. DOI: 10.3390/nu11040896
59. Spankovich C., Li Prell C.G. Healthy diets, healthy hearing: National health and nutrition examination survey, 1999–2002. *Int. J. Audiol.*, 2013, vol. 52, no. 6, pp. 369–376. DOI: 10.3109/14992027.2013.780133

Spirin V.F., Starshov A.M. On certain issues related to chronic exposure to occupational noise and impacts exerted by it on workers' bodies (literature review). Health Risk Analysis, 2021, no. 1, pp. 186–196. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.19.eng

Получена: 06.11.2020

Принята: 03.03.2021

Опубликована: 30.03.2021

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

Первый квартал 2021 г. (14.12.2020 –13.03.2021)

«Соглашение о принципах и подходах осуществления государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов Евразийского экономического союза в целях гармонизации законодательства государств – членов Евразийского экономического союза в указанной сфере» (Заключено в г. Москве 16.02.2021 г.)

Установлено, что государственный контроль (надзор) будет основываться на принципах, презумпции добросовестности проверяемых лиц, гласности деятельности органов государственного контроля, обеспечения защиты прав потребителей. Для оптимизации и повышения эффективности государственного контроля применяется риск-ориентированный подход. Правила оценки риска при выборе формы, продолжительности, периодичности проведения надзорных мероприятий определяются законодательством государств-членов. Обеспечивается функционирование системы информирования об опасной продукции.

Рекомендация Коллегии Евразийской экономической комиссии от 26.01.2021 г. № 4 «О принципах и подходах в отношении применения риск-ориентированного подхода в сфере государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов Евразийского экономического союза»

Установлено, в частности, что при проведении государственного контроля (надзора) государства-члены в соответствии со своим законодательством применяют сопоставимую модель риск-ориентированного подхода, включающую в себя: оценку риска по объекту технического регулирования (продукции); оценку риска по деятельности хозяйствующего субъекта; факторы, направленные на снижение риска в целом; общую оценку риска. На основе общей оценки риска выбирается форма, продолжительность и периодичность проведения мероприятий по государственному контролю (надзору), в том числе проверок.

Перечень поручений по результатам проверки исполнения законодательства и решений Главы государства, направленных на кардинальное снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха в крупных промышленных центрах (утв. Президентом РФ 12.12.2020 г. № Пр-2073)

Президент РФ поручил завершить до 1 марта 2021 г. формирование системы квотирования и ус-

тановления квот выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правительству РФ поручено обеспечить актуализацию перечней загрязняющих веществ для атмосферного воздуха (в том числе включение в них взвешенных частиц), подлежащих государственному регулированию; стандартизацию требований к измерениям выбросов, автоматическим средствам измерения выбросов; определение правового статуса комплексной информационной системы мониторинга.

Указ Президента РФ от 08.02.2021 г. № 76 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений»

Президент РФ поручил разработать Федеральную научно-техническую программу в области экологического развития и климатических изменений на 2021–2030 гг. Необходимо предусмотреть создание наукоемких технологических решений по обеспечению экологической безопасности, улучшению состояния окружающей среды; изучению климата, механизмов адаптации к климатическим изменениям и их последствиям. Начиная с 2022 г. Президенту РФ должен представляться ежегодный доклад о ходе ее реализации.

Федеральный закон от 30.12.2020 г. № 492-ФЗ «О биологической безопасности в Российской Федерации»

Федеральным законом устанавливаются основы государственного регулирования в области обеспечения биологической безопасности РФ, а также определяется комплекс мер, направленных на защиту населения и охрану окружающей среды от воздействия опасных биологических факторов, на предотвращение биологических угроз (опасностей), создание и развитие системы мониторинга биологических рисков.

Распоряжение Правительства РФ от 30.12.2020 г. № 3680-р «Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по развитию и укреплению системы федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора на 2021–2028 гг.

План мероприятий («дорожная карта») направлен на сохранение и защиту здоровья и благополучия населения от вредного воздействия факторов окружающей среды, обеспечение санитарной охра-

ны территории РФ от завоза и распространения инфекционных болезней, обеспечение национальной безопасности РФ, содействие развитию конкурентоспособной эпидемиологической и гигиенической науки. Ставится цель укрепления единой, устойчивой, вертикально-интегрированной системы федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора, объединяющей профильные научные центры, лабораторную сеть, силы и средства оперативного реагирования, обладающей современной инфраструктурой и использующей новейшие технологии в области эпидемиологии, гигиены и токсикологии.

Постановление Правительства РФ от 05.12.2020 г. № 2029 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 24 июля 2020 г. № 1108»

Расширен перечень видов госконтроля (надзора) и государственных органов – участников эксперимента по досудебному обжалованию решений контрольного (надзорного) органа. К числу участников эксперимента помимо МЧС, Росздравнадзора и Ростехнадзора отнесены также Минпромторг, Росреестр, ФНС, Росаккредитация, Роспотребнадзор, Рособорнадзор, Ространснадзор, Росалкогольрегулирование, ФССП и др.

Постановление Правительства РФ от 09.12.2020 г. № 2055 «О предельно допустимых выбросах, временно разрешенных выбросах, предельно допустимых нормативах вредных физических воздействий на атмосферный воздух и разрешениях на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух»

Порядок определяет процедуру разработки предельно допустимых выбросов и временно разрешенных выбросов за исключением радиоактивных веществ. Нормативы допустимых выбросов разрабатываются (рассчитываются) юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, осуществляющими хозяйственную и/или иную деятельность на объектах I, II и III категорий. Для объектов IV категории нормативы допустимых выбросов не рассчитываются. Нормативы допустимых выбросов утверждаются при наличии санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии указанных нормативов санитарным правилам.

Постановление Правительства РФ от 15.12.2020 г. № 2099 «Об утверждении Правил маркировки молочной продукции средствами идентификации и особенностях внедрения государственной информационной системы мониторинга за оборотом товаров, подлежащих обязательной маркировке средствами идентификации, в отношении молочной продукции»

Определен порядок маркировки молочной продукции, подлежащей обязательной маркировке средствами идентификации; требования к участни-

кам оборота молочной продукции; порядок информационного обмена участников оборота молочной продукции с государственной информационной системой мониторинга, характеристики средства идентификации. Установлен порядок представления сведений оператору информационной системы мониторинга при вводе в оборот, обороте и выводе из оборота молочной продукции.

Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 г. № 2428 «О порядке формирования плана проведения плановых контрольных (надзорных) мероприятий на очередной календарный год, его согласования с органами прокуратуры, включения в него и исключения из него контрольных (надзорных) мероприятий в течение года»

Утверждены Правила, предусматривающие перечень контрольных (надзорных) органов, которыми формируются ежегодные планы начиная с 2022 г., порядок согласования плана с органами прокуратуры, включения в него и исключения из него контрольных (надзорных) мероприятий в течение года, требования к проекту плана, срок размещения планов на официальных сайтах контрольных (надзорных) органов и др.

Постановление Правительства РФ от 06.03.2021 г. № 338 «О межведомственном информационном взаимодействии в рамках осуществления государственного контроля (надзора), муниципального контроля»

Утверждены Правила предоставления в рамках межведомственного информационного взаимодействия документов и (или) сведений, получаемых контрольными (надзорными) органами от иных органов либо подведомственных указанным органам организаций, в распоряжении которых находятся эти документы и (или) сведения, при организации и осуществлении видов государственного контроля (надзора), видов муниципального контроля.

Приказ Роспотребнадзора от 20.11.2020 г. № 771 «Об установлении критериев формирования доказательств, подтверждающих отличительные признаки пищевых продуктов, информация о которых указывается на добровольной основе в маркировке пищевых продуктов»

Утверждены критерии формирования доказательств, подтверждающих признаки пищевых продуктов, информация о которых указывается на добровольной основе в маркировке продуктов. Таковыми являются: наличие нормативных показателей содержания веществ в составе пищевых продуктов; методов оценки продуктов; результатов лабораторных исследований или научно-исследовательских работ, подтверждающих полезность потребительских свойств пищевых продуктов для здоровья.

Приказ Роспотребнадзора от 30.11.2020 г. № 785 «Об утверждении Административного

регламента Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по предоставлению государственной услуги по лицензированию деятельности в области использования возбудителей инфекционных заболеваний человека и животных (за исключением случая, если указанная деятельность осуществляется в медицинских целях) и генно-инженерно-модифицированных организмов III и IV степеней потенциальной опасности, осуществляемой в замкнутых системах»

Обновлен порядок лицензирования деятельности в области использования возбудителей инфекционных заболеваний человека и животных и генно-инженерно-модифицированных организмов III и IV степеней потенциальной опасности, осуществляемой в замкнутых системах. Государственная услуга предоставляется Роспотребнадзором (его территориальными органами).

Приказ Роспотребнадзора от 18.12.2020 г. № 837 «Об утверждении Программы профилактики нарушений обязательных требований на 2021 г.»

Утвержденная Программа направлена на достижение следующих целей: предупреждение нарушений юридическими лицами (ЮЛ) и индивидуальными предпринимателями (ИП) обязательных требований в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей, в области потребительского рынка и обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов; устранение условий, причин и факторов, способных привести к нарушениям обязательных требований и (или) причинению вреда (ущерба) охраняемым законом ценностям; повышение информированности ЮЛ, ИП об обязательных требованиях и способах их соблюдения.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.09.2020 г. № 28 «Об утверждении санитарных правил СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи»

Правила направлены на охрану здоровья детей и молодежи, предотвращение инфекционных, массовых неинфекционных заболеваний (отравлений) и устанавливают санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению безопасных условий образовательной деятельности, оказания услуг по воспитанию и обучению, спортивной подготовке, уходу и присмотру за детьми, включая требования к организации проведения временного досуга детей в помещениях (специально выделенных местах) и т.п.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 20.11.2020 г. № 36 «Об утверждении санитарно-эпидемиологических правил СП 2.3.6.3668-20 «Санитарно-эпидемиологи-

ческие требования к условиям деятельности торговых объектов и рынков, реализующих пищевую продукцию»

Правила устанавливают санитарно-эпидемиологические требования к условиям деятельности юридических и физических лиц при реализации пищевой продукции, в том числе на рынках и ярмарках, и к используемым при осуществлении такой деятельности зданиям, строениям, сооружениям, помещениям, территориям, оборудованию и транспортным средствам.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 02.12.2020 г. № 40 «Об утверждении санитарных правил СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда»

Санитарные правила устанавливают обязательные требования к обеспечению безопасных для человека условий труда. ЮЛ, ИП обязаны осуществлять: производственный контроль за условиями труда; разрабатывать и проводить санитарно-противоэпидемические (профилактические) мероприятия, предусмотренные Санитарными правилами. По результатам производственного контроля и специальной оценки условий труда хозяйствующим субъектом должен быть разработан и выполняться в установленные им сроки перечень мероприятий по улучшению условий труда, направленных на снижение рисков для здоровья человека.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 16.10.2020 г. № 30 «Об утверждении санитарных правил СП 2.5.3650-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры»

С 01.01.2021 вводятся в действие санитарные правила СП 2.5.3650-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры»

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 24.12.2020 г. № 44 «Об утверждении санитарных правил СП 2.1.3678-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорта, а также условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ или оказание услуг»

Правила направлены на охрану жизни и здоровья населения, обеспечение безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания, предотвращение возникновения и распространения инфекционных, неинфекционных заболеваний и устанавливают санитарно-эпидемиологические требования к выполнению работ и предоставлению гостиничных, медицинских, бытовых, социальных услуг,

услуг в области культуры, спорта, организации досуга, развлечений, продаже товаров для личных и бытовых нужд.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”»

Устанавливаются гигиенические нормативы содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений; химические и биологические факторы производственной среды; нормативы качества и безопасности воды; нормативы почвы населенных мест и сельскохозяйственных угодий; физические факторы (за исключением ионизирующего излучения); гигиенические нормативы по устройству, содержанию и режиму работы организаций воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи; гигиенические требования к печатным и электронным учебным изданиям для общего и среднего профессионального образования, книгам, журналам и газетам для взрослых; канцерогенные факторы; гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 3 «Об утверждении санитарных правил и норм 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-противоэпидемических (профилактических) мероприятий”»

Устанавливаются санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений; к обеспечению качества атмосферного воздуха; к качеству воды питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения; к водным объектам; к охране прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения; к качеству почвы; к устройству, оборудованию и содержанию зданий и сооружений; к обращению с отходами, пестицидами и агрохимикатами; к размещению и эксплуатации радиоэлектронных средств.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 16.11.2020 г. № 11 «О внесе-

нии изменений в Постановление Главного государственного санитарного врача по железнодорожному транспорту Российской Федерации от 30.10.2020 г. № 10 “О дополнительных мерах по снижению рисков распространения COVID-2019 при организации перевозок пассажиров железнодорожным транспортом в период сезонного подъема заболеваемости острыми респираторными вирусными инфекциями и массовых зимних перевозок 2020–2021 гг.”»

Уточнены рекомендации по снижению рисков распространения COVID-19 на объектах железнодорожного транспорта.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 4 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 3.3686-21 “Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней”»

Санитарные правила устанавливают обязательные требования: к комплексу мероприятий, направленных на обеспечение раннего выявления, предупреждения возникновения и распространения инфекционных болезней среди населения РФ; к мероприятиям, направленным на обеспечение личной и общественной безопасности, защиту окружающей среды при работе с микроорганизмами, вирусами, ядами биологического происхождения (токсинами) и иными биологическими агентами, в том числе созданными в результате генетических манипуляций, способных вызывать патологический процесс в организме человека или животного; к порядку учета, хранения, передачи и транспортирования биологических материалов, в которых могут содержаться патогены.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 17.02.2021 г. № 6 «О внесении изменения в пункт 2 постановления Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 03.12.2020 г. № 41 “Об утверждении санитарно-эпидемиологических правил СП 3.1.3671-20 “Условия транспортирования и хранения вакцины для профилактики новой коронавирусной инфекции (COVID-19) Гам-Ковид-Вак”»

Правила устанавливают требования к условиям транспортирования и хранения вакцины «Гам-Ковид-Вак» в организациях оптовой торговли лекарственными средствами аптечных организациях, медицинских организациях, а также требования к оборудованию, обеспечивающему сохранность исходного качества и безопасности вакцины от производителя (изготовителя) до потребителя («холодовая цепь»).

«АНАЛИЗ РИСКА ЗДОРОВЬЮ»

Предлагаем Вам оформить подписку на первое полугодие 2021 года на журнал, выбрав любой удобный для Вас способ подписки:

- на сайте ООО «Агентство «Книга-Сервис»:
https://www.akc.ru/itm/analiz-riska-zdorovy_u/ (подписной индекс журнала – Е83927);
- непосредственно в редакции журнала, подробности на сайте
<http://journal.fcisk.ru/subscription> или по телефону: 8 (342) 236-16-61.

Цена подписки в редакции на 6 месяцев: от 1872 руб.

Цена подписки через каталог «Книга-Сервис»: по прейскуранту



Федеральное государственное унитарное предприятие "Почта России" Ф СП- 1													
Бланк заказа периодических изданий													
АБОНЕМЕНТ						На газету журнал							
Анализ риска здоровью								(индекс издания)					
(наименование издания)						Количество комплектов							
На 20__ год по месяцам													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
X	X	X	X	X	X								
Куда 													
(почтовый индекс)						(адрес)							
Кому _____													
Линия отреза													
ПВ			место			литер			ДОСТАВОЧНАЯ				
									КАРТОЧКА			(индекс издания)	
На газету журнал						Анализ риска здоровью							
						(наименование издания)							
Стои- мость		подписки		руб.		Количество комплектов							
		каталож- ная		руб.									
		переадре- совки		руб.									
На 20__ год по месяцам													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
X	X	X	X	X	X								
почтовый индекс		Город		село									
код улицы		область		Район									
дом		корпус		квартира		Фамилия И.О.							

